



RESUMEN

La determinación de parámetros de resistencia y elasticidad en elementos tipo C fabricados en ferrocemento, consiste en una descripción general del ferrocemento sus orígenes, usos, propiedades así como ventajas y desventajas que puede tener en la construcción. Además se especifica nomenclatura, forma de construcción, tipo de mortero, ensayos realizados, conclusiones y recomendaciones.

Se analizaron dos clases de elementos tipo C, aquellos formados por mallas hexagonales de 1/2" y 3/4" en los que se realizaron ensayos de laboratorio a compresión y flexión en diferentes posiciones, para determinar cargas, deformaciones, resistencia a la compresión, modulo de elasticidad y esfuerzos cortantes.

PALABRAS CLAVES

Ferrocemento, Elementos tipo C, Superficie Especifica, Volumen de refuerzo, Ensayo a Flexión, Ensayo a Compresión.

**INDICE**

1	INTRODUCCIÓN	11
2	OBJETIVOS.....	11
	<i>Objetivo General</i>	<i>11</i>
3	MARCO TEORICO	11
3.1	FERROCEMENTO.....	11
3.2	ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	13
3.3	USOS DE ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO.....	15
3.4	VENTAJAS DEL FERROCEMENTO.....	16
3.5	DESVENTAJAS DEL FERROCEMENTO.....	17
3.6	MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN	17
	<i>Refuerzo.....</i>	<i>17</i>
	<i>Mortero Hidráulico.....</i>	<i>20</i>
3.7	PROPIEDADES MECANICAS.....	22
	<i>Propiedades En Estado Fresco.....</i>	<i>22</i>
	<i>Propiedades En Estado Endurecido.....</i>	<i>23</i>
3.8	ANÁLISIS DE LA CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN.....	24
3.9	REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCION.....	26
	<i>Propiedades Del Mortero</i>	<i>26</i>
	<i>Valores de la resistencia de diseño f'_c</i>	<i>26</i>
	<i>Selección de la proporción de mortero.....</i>	<i>26</i>
	<i>Humedad del agregado.....</i>	<i>27</i>
	<i>Consistencia del mortero.....</i>	<i>27</i>
	<i>Calidad Del Refuerzo</i>	<i>27</i>
4	NOMENCLATURA UTILIZADA PARA DEFINIR TABLEROS TIPO C....	28
5	PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS TIPO C FABRICADOS EN FERROCEMENTO	28
5.1	CONSTRUCCIÓN DE ENCOFRADOS	28
5.2	ARMADO DEL ACERO DE ARMAZÓN	29
5.3	COLOCACIÓN DE LA MALLA DE REFUERZO	30
5.4	RECUBRIMIENTO DE ELEMENTOS.....	31
5.5	PREPARACIÓN DEL MORTERO	32
5.6	CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS.....	33
6	DETERMINACION DEL NÚMERO DE MALLAS	34
7	ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN POSICIÓN A, B Y C.....	36
7.1	COMPRESIÓN.....	37
	<i>DETERMINACION DE LA ESBELTEZ.....</i>	<i>39</i>
7.2	FLEXIÓN	39
	<i>FLEXIÓN, POSICIÓN A.....</i>	<i>39</i>
	<i>FLEXIÓN, POSICIÓN B.....</i>	<i>42</i>
	<i>FLEXIÓN, POSICIÓN C.....</i>	<i>44</i>
	<i>ESFUERZO CORTANTE</i>	<i>47</i>
8	CONCLUSIONES	50



9	RECOMENDACIONES	51
10	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	52
11	ANEXOS	52



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DETERMINACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA Y ELASTICIDAD EN ELEMENTOS TIPO C FABRICADOS EN FERROCEMENTO

**Tesina Previa a la Obtención
del Título de Ingeniero Civil**

AUTORES:

**Geovanny Paul Campoverde Borja
Hernan Ricardo Campoverde Borja**

DIRECTOR:

Ing. Rubén Jerves Iñiguez

CUENCA - ECUADOR

2010



DEDICATORIA

A mis padres Hernán y Ana... Por la Vida,
Por su Amor, Ejemplo y Apoyo.
Me dieron la mano y nunca me dejaron
caer, me guiaron hacia la meta.
A mis hermanos Vivi, Geova, Isma y Henry
los Pilares de mi Alegría, en mi niñez,
adolescencia y juventud.
A mi Andre-CORAZON y a mi VALE
chiquita, mis dos amores las AMO, las
llevo en mi alma y mi corazón...
Las ADORO mis chocolatitas

Her

A mis padres Hernán y Ana, que con
mucho sacrificio me brindaron el estudio y
con Amor sus grandes consejos.
A mi esposa Katty, el complemento de mi
vida quien siempre tuvo una palabra de
aliento para levantarme.
A mis hijos: Danny y Sebas, el tesoro mas
grande; para quienes serán todos mis
logros en la vida.
Y a toda mi familia... Gracias para ellos
una meta mas cumplida.

Geova



AGRADECIMIENTO

A Dios que siempre nos a guiado y a llenado de bendiciones nuestro camino, y de manera especial al Ing. Ruben Jerves Iñiguez que sin su apoyo y ayuda incondicional no hubiese sido posible la realización de esta monografía.



INDICE

1	INTRODUCCIÓN	11
2	OBJETIVOS.....	11
	<i>Objetivo General</i>	<i>11</i>
3	MARCO TEORICO	11
3.1	FERROCEMENTO.....	11
3.2	ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	13
3.3	USOS DE ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO.....	15
3.4	VENTAJAS DEL FERROCEMENTO.....	16
3.5	DESVENTAJAS DEL FERROCEMENTO.....	17
3.6	MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN	17
	<i>Refuerzo.....</i>	<i>17</i>
	<i>Mortero Hidráulico</i>	<i>20</i>
3.7	PROPIEDADES MECANICAS.....	22
	<i>Propiedades En Estado Fresco.....</i>	<i>22</i>
	<i>Propiedades En Estado Endurecido.....</i>	<i>23</i>
3.8	ANÁLISIS DE LA CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN.....	24
3.9	REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCION.....	26
	<i>Propiedades Del Mortero</i>	<i>26</i>
	<i>Valores de la resistencia de diseño f_c</i>	<i>26</i>
	<i>Selección de la proporción de mortero.....</i>	<i>26</i>
	<i>Humedad del agregado.....</i>	<i>27</i>
	<i>Consistencia del mortero.....</i>	<i>27</i>
	<i>Calidad Del Refuerzo</i>	<i>27</i>
4	NOMENCLATURA UTILIZADA PARA DEFINIR TABLEROS TIPO C....	28
5	PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS TIPO C FABRICADOS EN FERROCEMENTO	28
5.1	CONSTRUCCIÓN DE ENCOFRADOS	28
5.2	ARMADO DEL ACERO DE ARMAZÓN	29
5.3	COLOCACIÓN DE LA MALLA DE REFUERZO	30
5.4	RECUBRIMIENTO DE ELEMENTOS.....	31
5.5	PREPARACIÓN DEL MORTERO	32
5.6	CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS.....	33
6	DETERMINACION DEL NÚMERO DE MALLAS	34
7	ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN POSICIÓN A, B Y C.....	36
7.1	COMPRESIÓN.....	37
	<i>DETERMINACION DE LA ESBELTEZ.....</i>	<i>39</i>
7.2	FLEXIÓN	39
	<i>FLEXIÓN, POSICIÓN A.....</i>	<i>39</i>
	<i>FLEXIÓN, POSICIÓN B.....</i>	<i>42</i>
	<i>FLEXIÓN, POSICIÓN C.....</i>	<i>44</i>
	<i>ESFUERZO CORTANTE</i>	<i>47</i>
8	CONCLUSIONES	50



9	RECOMENDACIONES	51
10	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	52
11	ANEXOS	52

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 7-1. Indica el decremento existente entre la carga teórica y la práctica.</i>	38
<i>Tabla 7-2. Indica la esbeltez de los diferentes elementos ensayados a compresión.....</i>	39
<i>Tabla 7-3. Indica el % de incremento que sufre el elemento una vez ensayado.</i>	45
<i>Tabla 7-4. Resumen de cálculo del Esfuerzo Cortante</i>	48

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3-1. Barco de Ferrocemento construido por Joseph Lambot</i>	13
<i>Figura 3-2. Sala Central del Palacio de Exposiciones en Turín construida por Pier Luigi Nervi.....</i>	14
<i>Figura 3-3. Clasificación del Refuerzo para la construcción de Ferrocemento.</i>	17
<i>Figura 3-4. Clasificación de mallas utilizadas para Ferrocemento</i>	18
<i>Figura 3-5. Tipos y tamaños de mallas de acero comunmente usados en fabricación de Ferrocemento.....</i>	19
<i>Figura 3-6. Armaduras construidas para refuerzo de los elementos de Ferrocemento</i>	19
<i>Figura 3-7. Granulometria ASTM de la arena.....</i>	21
<i>Figura 3-8. Rangos limites deseables del tamaño del agregado.....</i>	21
<i>Figura 3-9. Rangos limites deseables del tamaño del agregado.....</i>	25
<i>Figura 3-10. Niveles de comportamiento de acuerdo al ancho de las grietas ..</i>	26
 <i>Figura 5-1. Dimensiones y encofrado de Madera utilizado para la construcción de elementos tipo “C”</i>	29
<i>Figura 5-2. Dimensiones de la sección y armado de la estructura de acero ...</i>	30
<i>Figura 5-3. Armado y colocación de capas de malla hexagonal</i>	31
<i>Figura 5-4. Cordón para sellado de juntas utilizado como espaciadores de recubrimiento.....</i>	32
<i>Figura 5-5. Preparación y mezclado del mortero durante el proceso de construcción.</i>	33
<i>Figura 5-6. Procedimiento de trabajo para colocación y moldeado del mortero en cofres de madera.....</i>	33
<i>Figura 5-7. Procedimiento de desencofrado de elementos</i>	33
<i>Figura 7-1. Comparación entre los valores de cargas prácticas y teóricas aplicando las fórmulas a compresión propuestas por los Sres. Desayu y Joshi.</i>	38
<i>Figura 7-2. Gráfica Carga – Deformación en elementos tipo C, en posición A.</i>	42
<i>Figura 7-3. Gráfica Carga – Deformación en elementos tipo C, en posición B.</i>	44



<i>Figura 7-4. Variación entre los valores de cargas teóricas y prácticas.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 7-5. Comparación de Curvas Carga – Deformación en elementos tipo C, ensayados en posición C.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 7-6. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 1 ensayado en posición C.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 7-7. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 2 ensayado en posición C.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 7-8. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 3 ensayado en posición C.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 7-9. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 4 ensayado en posición C.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 7-10. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 5 ensayado en posición C.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 7-11. Comparación de Curvas Carga – Deformación a Flexión en elementos tipo C, ensayados en posición C.....</i>	<i>50</i>

INDICE DE FOTOS

<i>Foto 11-1 Colocacion de la malla hexagonal utilizando trozos de alambre de acero, en el amazon previamente soldado</i>	<i>69</i>
<i>Foto 11-2 Preparacion del encofrado para colocar el mortero y el amazon de acero con malla hexagonal.....</i>	<i>69</i>
<i>Foto 11-3 Indica preparacion y vertido del mortero en los moldes previamente engrasados.....</i>	<i>69</i>
<i>Foto 11-4 Obsérvese durante el proceso de desencofrado de los elementos..</i>	<i>70</i>
<i>Foto 11-5 Elemento fabricado en ferrocemento listo para ser ensayado en posición A, la varilla indica el punto medio donde se va a aplicar la carga al elemento simplemente apoyado.....</i>	<i>70</i>
<i>Foto 11-6 Indica el tipo de apoyos utilizados durante el proceso de ensayo del elemento.....</i>	<i>70</i>
<i>Foto 11-7 Obsérvese el tipo de deformimetro utilizado durante el proceso de ensayo de los elementos.....</i>	<i>71</i>
<i>Foto 11-8 Obsérvese la primera grieta durante el ensayo y luego de cierto lapso de tiempo el pandeo de la losa y las grietas en los patines.....</i>	<i>71</i>
<i>Foto 11-9 Indica el elemento ensayado una vez que alcanzo su carga máxima.</i>	<i>71</i>
<i>Foto 11-10 Elemento listo para ser ensayado en posición B, obsérvese ubicación de la placa en el centro del claro y de los apoyos para que el elemento trabaje como simplemente apoyado.</i>	<i>72</i>
<i>Foto 11-11 Obsérvese al elemento durante el proceso de carga y la aparición de las primeras grietas en los patines.</i>	<i>72</i>
<i>Foto 11-12 Elemento al final del ensayo, con grietas y pandeo en la losa.</i>	<i>72</i>
<i>Foto 11-13 Laboratoristas acomodando el elemento para someterlo al ensayo de flexion en posición C. La carga se aplico lo mas al borde posible para ejercer una carga puntual que evite que se produzca torsion en el elemento..</i>	<i>73</i>
<i>Foto 11-14 Obsérvese ubicación de carga y apoyos durante el proceso de ensayo.....</i>	<i>73</i>
<i>Foto 11-15 Indica la aparición de grietas en el interior y exterior de la losa formando un ángulo de 45 con respecto al punto de aplicación de la carga. ...</i>	<i>74</i>



<i>Foto 11-16 Elementos tipo C ensayados a compresion, observese grietas longitudinales y desconchamiento del mortero.....</i>	<i>74</i>
<i>Foto 11-17 Estado final de elemento una vez ensayado a compresion.</i>	<i>75</i>
<i>Foto 11-18 Las estructuras sometidas a compresion presentaron una falla en la base, debido a la carga aplicada o a una mala interaccion entre la base de la prensa y la estructura.....</i>	<i>75</i>
<i>Foto 11-19 Los elementos fueron pesados utilizando la balanza del laboratorio de suelos para determinar su peso propio.</i>	<i>76</i>
<i>Foto 11-20 Obsérvese como se determino la resistencia a compresión del mortero, utilizando las probetas cubicas.</i>	<i>76</i>
<i>Foto 11-21 Indica los posibles usos que se podrían dar a este tipo de tableros para ser utilizados en cubiertas y muros.</i>	<i>77</i>



1 INTRODUCCIÓN

El presente tema tiene como finalidad dar a conocer las características mecánicas que tienen los elementos tipo charola (C) fabricados en ferrocemento, para ser utilizados en la construcción de obras civiles.

El ferrocemento consiste en un mortero muy rico en cemento de poco espesor, en la que el número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal, consiguiéndose de esta manera un comportamiento notablemente mejorado con relación al hormigón armado cuya resistencia está dada por la forma de las piezas.

Se utilizará una resistencia a compresión del mortero en el orden de los 400 kg/cm², la resistencia a la fluencia de las barras longitudinales de 2800 kg/cm², y

Los elementos estarán diseñados a cumplir con la rigidez adecuada y atender deflexiones verticales del elemento, sin fallar y sin exceder los límites especificados en las normas vigentes.

Una vez diseñados y fabricados los elementos tipo C en ferrocemento se procederá a ensayarlos a flexión y compresión en posición A, B y C, además se medirán las deformaciones que se producirán. Cabe indicarse que el ferrocemento presenta una resistencia muy buena a la tracción manteniéndose en el rango elástico hasta su fisuración, la presencia de mallas no modifica la resistencia a compresión del mortero que forma la matriz.

Con los resultados de laboratorio se procederá a determinar los parámetros de resistencia y elasticidad a los pueden estar sometidos los elementos, con lo cual quedará definido su tipo de aplicación.

2 OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar parámetros de resistencia y elasticidad en elementos tipo C fabricados en ferrocemento, mediante ensayos de laboratorio.

3 MARCO TEORICO

3.1 FERROCEMENTO

El ferrocemento se puede definir como la fusión de una armadura de refuerzo pequeña con material aglutinante (mortero), compuesto por material cementante (generalmente Cemento Portland), arena, agua y ocasionalmente aditivos.



El Comité 549 del ACI (American Concrete Institute) adoptó la siguiente definición de ferrocemento:

“El ferrocemento es un tipo de hormigón armado que se construye en secciones de pared delgada habitualmente utilizado con mortero de cemento hidráulico reforzado con capas muy juntas de malla de alambre continuas y de diámetro relativamente pequeño. La malla puede ser de acero u otro material que resulte adecuado.”

Entre las necesidades generales para que el ferrocemento sea aceptado universalmente como material de construcción, estas son:

- 1.- El desarrollo de métodos simplificados de análisis y diseño.
- 2.- El desarrollo de un reglamento o guía de proyecto.
- 3.- El desarrollo de procedimientos de construcción eficientes y económicos.

De investigaciones realizadas se han sacado las siguientes características:

- Buen aislamiento acústico,
- Buena resistencia ante agentes mecánicos,
- Buena resistencia al agrietamiento,
- Facilidad de construcción y reparación,
- No necesita prácticamente mantenimiento,
- Bajo costo.

El ferrocemento es fácil de construir y reparar; generalmente no necesita encofrado ni requiere de mano de obra calificada; sus materiales constitutivos son, casi siempre, de cómoda adquisición; tiene gran resistencia al fuego, al impacto y a la flexión; posee bajo agrietamiento y es adaptable a cualquier forma geométrica. Estas singulares propiedades que ofrece lo convierten en un material alternativo idóneo, de amplios usos en la ingeniería y la arquitectura.

3.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Aunque hay plena evidencia que el uso de morteros reforzados con fibras se remonta a los tiempos del imperio Romano, e, inclusive, a los tiempos de los Sumerios, Joseph Louis Lambot produjo los primeros objetos construidos con mortero reforzado con Malla de alambre.

Lambot concibe el Ferrocemento como un material de construcción para ser usado como sustituto de la madera en construcciones navales, arquitectónicas, y para uso doméstico, que no está sujeto a daños por agua y humedad. Lo patentó, con el nombre de "ferciment", en 1852.



Figura 3-1. Barco de Ferrocemento construido por Joseph Lambot

Ya en el siglo XX a principios de los años cuarenta, el arquitecto, ingeniero y constructor italiano, Pier Luigi Nervi, retoma las ideas de Lambot realizando estudios en concretos reforzados con capas de malla de alambre. Se asombra con sus observaciones de los resultados de sus estudios en donde anota que el material obtenido tiene un "comportamiento similar al de un material homogéneo de elevadas resistencias". Nervi procede a diseñar y construir diferentes modelos en ferrocemento, considerados racionales y estéticos dentro del diseño estructural.

En sus estudios, Nervi encuentra un material altamente flexible, elástico y resistente a la tracción. Variando diámetros y capas de refuerzo, obtuvo espesores con cualidades importantes como gran deformabilidad y baja formación y propagación de fisuras y microfisuras. Su más destacada obra se considera la cobertura del salón principal del palacio de exposiciones de Turín, con una luz de 96 metros.



Figura 3-2. Sala Central del Palacio de Exposiciones en Turín construida por Pier Luigi Nervi

Las aplicaciones constructivas del ferrocemento son extensas y variadas en el mundo: Bóvedas delgadas en Canadá; viviendas en la India, Filipinas y México; botes pesqueros en China y Cuba; techos de estadios en la antigua Unión Soviética y silos para granos en Argentina y Tailandia. Sin embargo, su uso más frecuente se ha encontrado en la fabricación de cascos de embarcaciones, depósitos de aguas, techos y cúpulas geodésicas.

Arquitectos Brasileños han desarrollado prefabricados de ferrocemento para urbanizaciones y escuelas, Cuba se especializó en la construcción de botes pesqueros, en Estados Unidos se han hecho varias aplicaciones arquitectónicas, en México se han construido varios programas piloto con este material especialmente en vivienda de bajo costo o reparación de edificaciones hechas con mampostería no reforzada.

En Colombia se han presentado aplicaciones del ferrocemento en los últimos 15 años, tales como tanques de fermentación de café, tanques de agua, losas y casas prefabricadas de uno y dos pisos.

En la actualidad, el ferrocemento se investiga con objetivos muy específicos, en empresas de la construcción, centros de investigación de materiales para la construcción y universidades, en diferentes lugares del mundo, en donde se espera nuevas y versátiles soluciones del material para los retos presentes y venideros en la ingeniería de las construcciones civiles.

Ecuador

El Cuerpo de Paz, USAID, Plan Internacional, CARE - Ecuador y el Instituto de obras Sanitarias IEOS, en 1985 realizan una capacitación sobre la tecnología del Ferrocemento. Luego de tal evento ha existido una difusión constante y

permanente y una aplicación total de esta tecnología a sistemas de agua potable a sectores rurales del país.

Por el gran desarrollo adquirido se han dado una serie de innovaciones y aplicaciones, simplificando cada vez más y estandarizando procedimientos y se podría asegurar que en la región andina ecuatoriana que no menos de un 30% de la población de mano de obra calificada, conoce sobre la construcción en ferrocemento. Se han diseñado unidades completas de tratamiento con esta tecnología aplicada al FiME (Filtración Multietapas).

En la región andina del Ecuador se podría asegurar que se han construido más de 1000 sistemas de tratamiento de agua potable utilizando la tecnología del Ferrocemento.

En la Universidad de Cuenca se han desarrollado tesis de graduación de Ingenieros Civiles, que han permitido sistematizar la utilización de la tecnología del ferrocemento.

3.3 USOS DE ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO

CAMPO DE UTILIZACION

- Prefabricados
 - Paneles de paredes
 - Paneles de losa de entrepiso
 - Paneles de cubierta
 - Placas rigidizadoras
 - Mesones – escaleras
 - Paneles para encofrado
 - Paneles de geometrías especiales
- Viviendas
 - De 1 a 3 pisos
 - Económicas
 - De lujo
 - Especiales
- Barcos
 - Botes
 - Yates
 - Gabarras
 - Muelles



- Reservorios
 - Piscinas
 - Cisternas
 - Tanques
 - Silos
 -
- Monumentos
 - Históricos
 - Artísticos
 - Símbolos de la ciudad
 - De grandes dimensiones
 - De forma paraboloides
- Presas
- Puentes
- Otras Edificaciones



3.4 VENTAJAS DEL FERROCEMENTO

- Gran resistencia
- Bajo costo
- Incombustible
- Impermeable
- Fácil de construir
- Fácil de reparar
- Poco peso
- Bajo consumo de materiales
- Gran libertad de formas
- Gran velocidad de obra
- Ecológico
- Industrializable

3.5 DESVENTAJAS DEL FERROCEMENTO

- La principal desventaja de las construcciones de ferrocemento es el precio de la mano de obra, ya que requiere mano de obra calificada.
- El gran peso por metro cuadrado, si bien el peso específico del ferrocemento es similar al del hormigón, deja de ser crítico con un adecuado dimensionamiento de sus elementos cuyos espesores son pequeños;
- Baja resistencia a la tracción, pero en ocasiones es superior a la del hormigón armado;
- Concentración de armaduras en las uniones con tendencias a baja resistencia del mortero;
- Se obtienen estructuras en las que es difícil lograr niveles altos de ductilidad;
- Modelación matemática poco confiable para un análisis sísmico elasto - plástico de un edificio real;
- Necesidad de disponer de cinturones sismorresistentes al nivel de los pisos, para proporcionar una resistencia y rigidez adecuada a los entrepisos y cubiertas de los edificios;
- Se requiere la colocación de pernos entre paneles, para garantizar de forma mecánica, el trabajo en conjunto de los paneles, que forman los tímpanos verticales de las edificaciones sometidas a acciones laterales de consideración, fundamentalmente cuando la obra tiene más de dos niveles.

3.6 MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN

Refuerzo

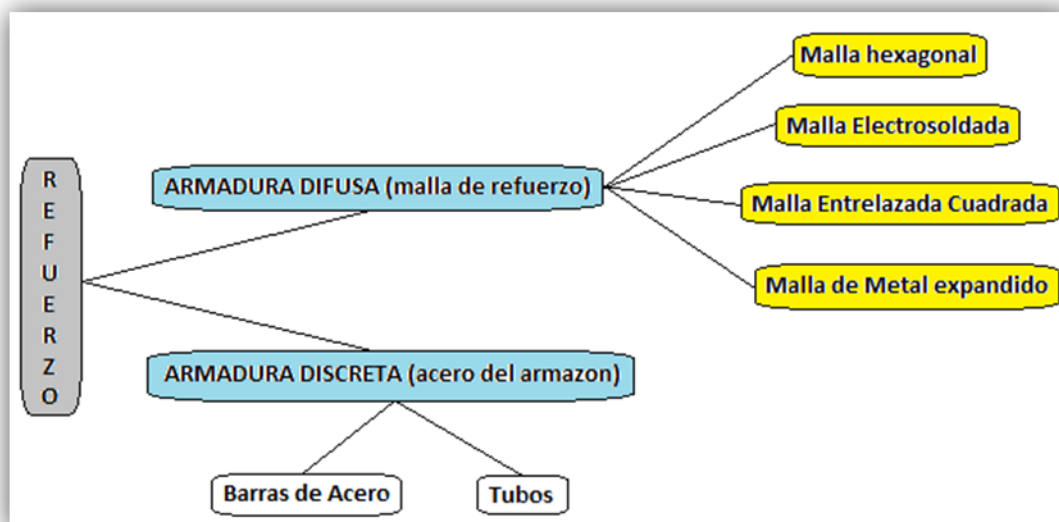


Figura 3-3. Clasificación del Refuerzo para la construcción de Ferrocemento

Armadura difusa.- es aquella que está constituida por hilos de pequeño

diámetro o láminas de pequeño espesor, poco espaciados distribuidos uniformemente en el mortero.

Las mallas de refuerzo están formadas de alambres tejidos, trenzados o soldados, que se distribuyen uniformemente en la masa del mortero, y como principales características deben ser manuales y flexibles para adaptarse a diversas formas.

- **Malla hexagonal.-** Fácil de manejar, se forma por el trenzado de alambres galvanizados, se fabrica con alambre estirado en frío.
- **Malla entrelazada cuadrada.-** Es una malla tejida, en la que los alambres están simplemente entrelazados, formando una malla cuadrada o rectangular, los alambres no están perfectamente derechos y existe un cierto grado de ondulación, según pruebas estas mallas se comportan tan bien o mejor que la malla hexagonal o cuadrada soldada.
- **Malla Electrosoldada.-** Está formada por alambres rectilíneos de acero, dispuestos de manera que forman cuadrados o rectángulo, soldados entre sí, en los puntos de contacto.
- **Malla de Metal Expandido.-** Se forma cortando una hoja delgada de metal desplegado para hacer aberturas en forma de diamante. La desventaja de este material es que tiende a abrirse debido a la acción de “tijera” de la malla en forma de diamante; obviamente existe un límite en cuanto al tamaño y peso de este material para evitar la acción de “tijera”.





Tipos		Norma
Hexagonal de alambre (malla de gallinero)		
Malla electrosoldada		ASTM A135
Malla cuadrada tejida		ASTM E2016-99
Malla de metal expandido		ASTM C 847

Figura 3-4. Clasificación de mallas utilizadas para Ferrocemento

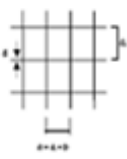

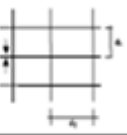





Tipo	Forma		Empalmes	Fabricación	Denominación, medida	Espaciamento de alambre		Diámetro del alambre o espesor de la malla		
	Configuración					in	mm	in	mm	
De alambre	Cuadrada			Tejida o soldada	¼ x ¼ N° 16	¾	19,0	0,0630	1,60	
						½	13	0,0410	1,00	
					1/3	8,5	0,0286	0,72		
					¼	6,4	0,0250	0,64		
					Soldada	1 x 1 N° 14	1	25,0	0,0800	2,00
Rectangular			Soldada	2 x 1 N° 14	2 x 1	50 x 25	0,0800	2,00		
Hexagonal			Retorcida	1 N° 18	1	25,0	0,0475	1,20		
				1 N° 20	1	25,0	0,0348	0,88		
				½ N° 22	½	13,0	0,0286	0,72		
De metal expandido o desplegado	Diamante			Cortando una hoja delgada de metal desplegado para hacer aberturas en forma de diamante	3,4 lb/yd²			0,0230	0,58	
					Gage N° 18			0,0400	1,00	
					Gage N° 20			0,0300	0,76	

Figura 3-5. Tipos y tamaños de mallas de acero comunmente usados en fabricación de Ferrocemento

Armadura discreta.- constituida por tubos y barras de acero, con la función de esqueleto y de armadura complementaria para resistir los esfuerzos solicitantes, como complemento de la armadura difusa.



Figura 3-6. Armaduras construidas para refuerzo de los elementos de Ferrocemento



Mortero Hidráulico

El Mortero hidráulico o mortero, es la mezcla homogénea compuesta de cemento, arena y agua, pudiendo eventualmente contener aditivos que mejoren sus cualidades.

Para un uso normal se recomienda las siguientes proporciones en peso de la mezcla: la relación arena/cemento entre 1,5 a 2, que puede llegar a 3 cuando se utilice en la colocación del mortero equipos de presión, a causa de la pérdida de granos por rebote; la relación agua/cemento puede fluctuar entre 0,4 y 0,6, dependiendo de la forma y de la técnica en que sea colocado.

La resistencia a la compresión a los 28 días en probetas de 4 x 4 x 16 cm., curadas en ambiente húmedo, será no menor de 32 MN/m² (315 kg /cm²), salvo en casos excepcionales se puede llegar a 25 MN/m² (230 kg/cm²). En Brasil, las probetas utilizadas son cilíndricas de 50mm. de diámetro x 100 mm. de alto; los valores de resistencia exigidos son casi los mismos (25MN/m² a 50 MN/m²).

3.6.1.1 Cemento

Es un material con propiedades de adherencia y cohesión que lo hacen capaz de aglutinar fragmentos minerales en una masa compacta, tanto bajo agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

La respuesta de las estructuras de ferrocemento depende de las propiedades mecánicas del mortero endurecido dentro de condiciones ambientales determinadas. Propiedades como resistencia a compresión, dureza, impermeabilidad y resistencia al ataque químico, determinan en gran parte el comportamiento a corto y largo plazo del ferrocemento.

Normalmente el cemento Portland de Tipo I y Tipo II es adecuado para aplicaciones en las que no se requieran propiedades particulares o en las que no existan condiciones especiales.

3.6.1.2 Agregados

El agregado para morteros de ferrocemento debe ser duro, impermeable, libre de impurezas orgánicas, limpias y resistentes. El ferrocemento se caracteriza por tener agregados con tamaños máximos relativamente pequeños consistentes con el de las arenas para la fabricación de concreto convencional.

La arena no debe ser porosa, ni poseer cantidades de polvo fino que cree excesivos espacios vacíos, pues se reduciría la resistencia a compresión del mortero. Algunos agregados porosos permiten el flujo de humedad, lo cual aumenta la permeabilidad, reduce la durabilidad y desmejora el comportamiento estructural del mortero.

La granulometría de la arena debe producir una distribución uniforme de los áridos, para lograr alta trabajabilidad, densidad y resistencia, evitando la segregación y altos contenidos de agua.

Tamiz	% que pasa
3/8" (9,50 mm)	--- 100
Núm. 4 (4,75 mm)	95 a 100
Núm. 8 (2,36 mm)	80 a 100
Núm. 16 (1,18 mm)	50 a 85
Núm. 30 (0,6 mm)	25 a 60
Núm. 50 (0,3 mm)	10 a 30
Núm. 100 (0,15 mm)	2 a 10
Núm. 200 (0,075 mm)	0 a 0

Figura 3-7. Granulometria ASTM de la arena

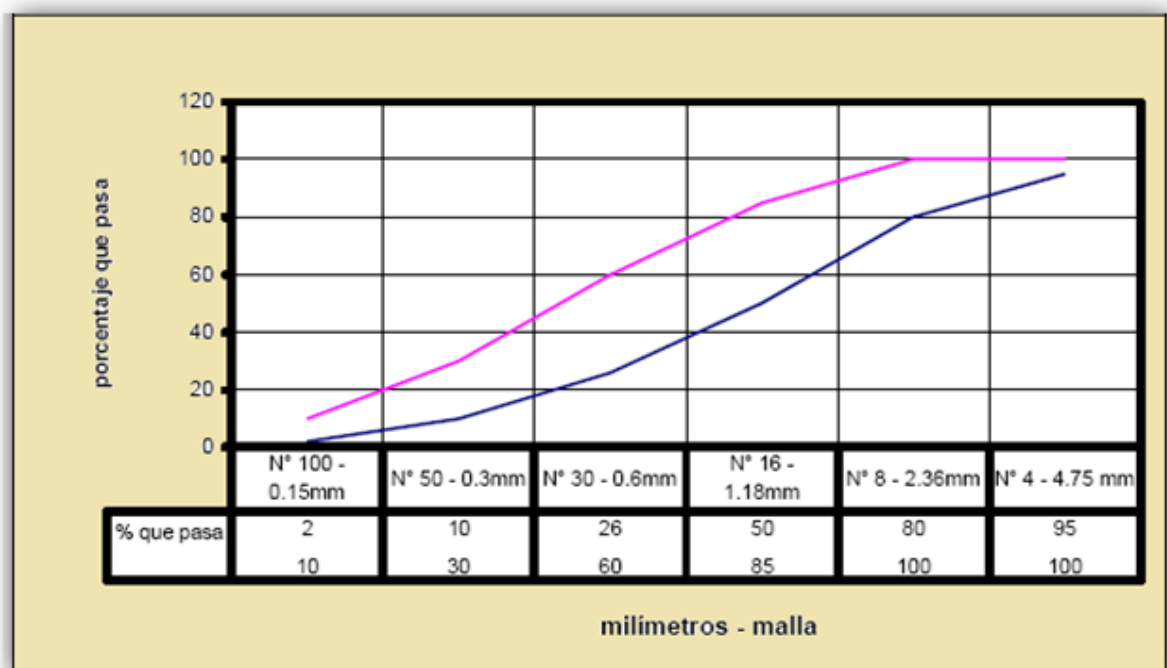


Figura 3-8. Rangos límites deseables del tamaño del agregado



3.6.1.3 Agua

Es de gran importancia para la preparación del mortero y el curado del ferrocemento. El agua debe ser fresca, exenta de impurezas y turbiedad, libre de sustancias orgánicas, álcalis, aceites, cieno, lama, azúcar, cloruros, ácidos y otras soluciones que puedan ocasionar corrosión del refuerzo, deterioro de las propiedades del mortero y el manchado de las superficies expuestas. El agua potable es en general apta para uso en mezclas para ferrocemento. No se recomienda el uso de agua salada.

3.6.1.4 Aditivos para el mortero de ferrocemento

Son sustancias que incorporadas a la mezcla modifican o mejoran una o más propiedades del ferrocemento, obteniendo un mortero más adecuado para las condiciones de trabajo o más económico. Los aditivos ayudan a la trabajabilidad, reducen las exigencias de agua y prolongan o reducen los tiempos de fraguado del mortero.

El comité ACI 212 lista muchos de las modificaciones que se logran usando aditivos en las mezclas:

- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar o reducir el contenido de agua.
- Acelerar las resistencias a edades tempranas y aumentar la resistencia.
- Retardar o acelerar el fraguado inicial o reducir el calor de hidratación.
- Modificar la velocidad de exudación.
- Mejorar la durabilidad o la resistencia bajo condiciones severas.
- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Reducir el flujo capilar de agua, la permeabilidad en los líquidos y el asentamiento.
- Producir mortero celular y de color.
- Mejorar la penetración y el bombeo.
- Aumentar la adherencia entre el mortero y el refuerzo, y entre morteroviejos y nuevos.
- Obtener morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Inhibir la corrosión del refuerzo.
- Reducir el costo unitario del mortero.

3.7 PROPIEDADES MECANICAS

Propiedades En Estado Fresco

Manejabilidad.- Se define como la facilidad con la que un grupo dado de materiales puede mezclarse, luego manejarse, transportarse y colocarse de manera que no pierda su homogeneidad.



La manejabilidad depende de las proporciones de cada uno de los materiales y está relacionada con el concepto de consistencia, y ésta, a su vez, al estado de fluidez del mortero.

Retención de Agua.- Es la capacidad que posee el mortero de mantener su plasticidad al contacto con una superficie absorbente.

Para obtener morteros de buena plasticidad se puede aumentar los contenidos de finos, usar aditivos plastificantes, agentes incorporadores de aire, cemento puzolánicos o cal.

Velocidad de endurecimiento.- El tiempo de fraguado inicial y final en una mezcla debe estar dentro de un intervalo adecuado para permitir el uso del mortero fresco y el comienzo oportuno del proceso de ganancia de resistencia.

Propiedades En Estado Endurecido

Retracción.- El agua libre en la mezcla fresca puede evaporarse. La tasa de evaporación del agua, depende de las condiciones ambientales. En zonas con condiciones climáticas severas, temperaturas altas, comentes fuertes de vientos, la tasa de evaporación puede ser muy importante. La pérdida de agua implica una disminución en el volumen del mortero.

Contracción y flujo bajo carga.- El ferrocemento, en este aspecto, es diferente al hormigón reforzado. De los ensayos hechos en secciones de ferrocemento se ha encontrado que el comportamiento de flujo plástico (fluencia a largo plazo), en una sección reforzada con malla de alambre galvanizado, presenta menor fluencia que la misma sección reforzada con malla de alambre sin galvanizar.

Adherencia.- Es la capacidad del mortero para absorber las tensiones normales y tangenciales a la superficie de contacto del mortero. La adherencia contribuye a la resistencia de la estructura ante solicitaciones de pandeo, cargas transversales y excéntricas.

Resistencia.- En estructuras de ferrocemento se requiere buena resistencia a compresión que se traduce en buena resistencia para esfuerzos de cortante y tracción. La resistencia a compresión la aporta principalmente el mortero y se mide por medio de cubos normalizados.

La resistencia a compresión es función del tamaño de los agregados, la cantidad de cemento y las proporciones entre estos morteros hechos con un mismo agregado, un porcentaje mayor de cemento, por unidad de volumen, resulta en mayor resistencia e impermeabilidad

Fatiga.- En diversas investigaciones se ha estudiado los efectos del uso de acero del armazón, el uso de la malla de refuerzo, los métodos de curado, y los tipos de cemento.

Los resultados han mostrado que la fatiga del ferrocemento es función de la fatiga del refuerzo, y no sólo de la malla sino también del acero del armazón. La malla sin galvanizar presenta mayor resistencia a la fatiga que la malla galvanizada.



Impacto.- los estudios han mostrado que las propiedades del refuerzo, incluyendo las del acero del armazón, influyen de una manera importante en el comportamiento y la capacidad de resistencia de los elementos del ferrocemento.

Durabilidad.- Una estructura de ferrocemento es durable cuando puede soportar, en las Condiciones para la cual fue diseñada, en un grado satisfactorio, es decir, sin deterioro mayor al de la degradación normal con el envejecimiento, bajo un programa de mantenimiento estándar, los efectos de las cargas de servicio a las que se le sometan durante su vida útil, además de fenómenos climatológicos, desgaste, contracción, eflorescencias, corrosión, ataques químicos, entre otros.

Corrosión.- El fenómeno de la corrosión puede darse en el cemento, en el agregado y en el refuerzo, en la forma de ataque de sulfatos, reacción álcalis-agregados y celda galvánica, respectivamente. Los cambios ambientales, el nivel de permeabilidad del mortero, la composición química del agua de mezclado y de los aditivos, entre muchos otros, son agentes que inciden en los procesos de corrosión que pueden afectar al ferrocemento.

Apariencia.- La capacidad que tiene el ferrocemento para dejarse vaciar en elementos de pared delgada que pueden construirse con cualquier forma, lo convierte en un material versátil, ideal para construcciones poco convencionales. El color y la textura del mortero pueden mejorarse y controlarse con colorantes inorgánicos o aditivos especiales. La plasticidad de la mezcla, la selección y las proporciones adecuadas de sus componentes son de esencial importancia en el acabado de la superficie del mortero.

3.8 ANÁLISIS DE LA CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN

Idealmente, el ferrocemento actúa como un material homogéneo en el rango elástico y el refuerzo del compuesto se obtiene de las leyes de la mezcla. Cuando una muestra de ferrocemento se somete a esfuerzos de tensión crecientes, se observan tres niveles de comportamiento; estos niveles o campos se clasifican de acuerdo con el ancho de las grietas.

A continuación se muestra un gráfico de la curva Esfuerzo – Deformación, de una sección de ferrocemento sometida a esfuerzos de tensión.

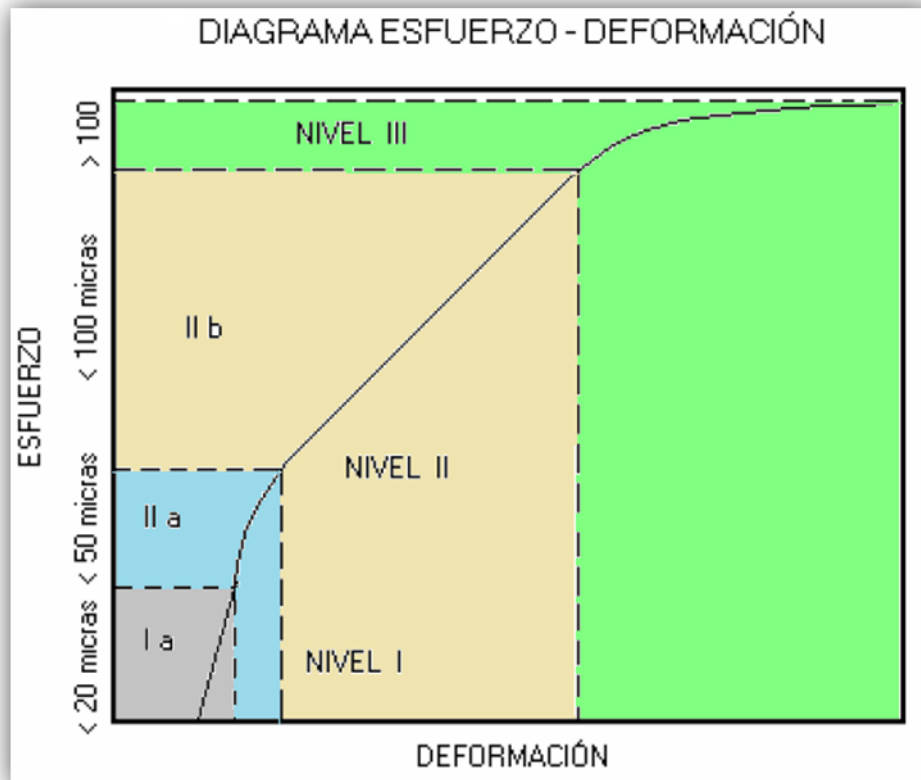


Figura 3-9. Rangos límites deseables del tamaño del agregado

Esta curva presenta un primer rango elástico (Nivel Ia) que es básicamente lineal, asimismo ocurren deformaciones elásticas tanto en las parrillas de metal como en las cristalinas y coloides; no existe evidencia de formación de grietas aún cuando se observan en aumento los esfuerzos. El límite de elasticidad del ferrocemento es más alto que el del concreto no reforzado.

Luego se presenta una etapa de agrietamiento (Nivel IIa, IIb), en estas etapas se presentan deformaciones muy definidas en los coloides así como en las parrillas cristalinas, los refuerzos son quienes resisten dichos incrementos, en este momento empieza la formación y ensanchamiento de grietas originales; la curva esfuerzo – deformación deja de ser lineal, apreciándose un aumento de grietas con incrementos de esfuerzos sin ensanchamientos de las ya existentes. El mortero y el refuerzo tienen una acción en conjunto hasta que se llega a un ancho de grietas de 100 micras. Se ha observado que estas grietas están en función de la superficie específica del refuerzo.

Finalmente se presenta la etapa de fluencia (Nivel III), en esta etapa el proceso de ensanchamiento de las grietas continúa de manera uniforme, y entonces es el refuerzo el que absorbe los esfuerzos del conjunto. El ancho de grietas es mayor que 100 micras y continúa el crecimiento de la grieta hasta que se produce el colapso total del elemento.



Nivel	Nivel del material	Comportamiento	Ancho de grietas En micras	Esfuerzos Kg /cm ²	Alargamiento unitario x 10 ⁻⁶
I	Linealmente elástico	Impermeable			
Ia		Impermeable	0 – 20	33	200
IIa	Casi elástico	No corrosivo I	20 – 50	36	290
IIb	No lineal	No corrosivo II	50 – 100	43	645
	Elastoplástico				
III	Plástico	Corrosivo	> 100		

Figura 3-10. Niveles de comportamiento de acuerdo al ancho de las grietas

3.9 REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCION

Propiedades Del Mortero

Densidad media del mortero $\delta_m \geq 2.200 \text{ kg/m}^3$

Tamaño máximo del agregado = 5 mm.

Capacidad de absorción del agua < 8%

La densidad del mortero que debe tomarse para el cálculo depende de la cantidad de acero de armadura utilizada, por ejemplo:

$\delta_m = 2.300 \text{ kg/m}^3$ (cuando las celdas de las mallas son pequeñas)

$\delta_m = 2.400 \text{ kg/m}^3$ (cuando se usan dos mallas)

δ_m , se incrementa 50 kg/m^3 por cada malla adicional

Valores de la resistencia de diseño f'_c

Las estructuras de ferrocemento, trabajaran a una resistencia especificada a la compresión mínima, ensayada a los 28 días de curado en ambientes húmedos:

$f'_c \geq 250 \text{ kg/cm}^2$ (25 MPa), en cilindros de 75 por 150 mm

$f'_c \geq 2.300 \text{ kg/cm}^2$ (30 MPa), en testigos Cubos de 100 mm

Selección de la proporción de mortero

Para la preparación del mortero, la cantidad de materiales debe preferiblemente estar determinada por peso, debe responder a los resultados obtenidos de los ensayos para una resistencia determinada de diseño, debiendo estar entre los siguientes rangos:

- Relación en peso de: **agregado/cemento: 1,5 a 2**; es decir, debe emplearse una proporción en peso equivalente a una parte de cemento por 1,5 a dos partes de arena.
- Relación en peso de: agua/cemento (a/c): 0,35 a 0,5; puede optarse por:



- **0,4** si la arena es bien graduada, y se vibra
- **0,5** si se coloca a mano y la arena es angulosa

La relación agua-cemento debe mantenerse lo más baja posible, para darle al material calidad y trabajabilidad adecuada, por lo cual se recomienda que la relación $a/c \leq 0,45$.

Humedad del agregado

La humedad contenida en el agregado condiciona el cálculo de agua requerida.

Consistencia del mortero

Una buena compacidad del mortero se consigue cuando la mezcla es lo más densa posible y sea capaz de aplicarse en su totalidad al interior de las mallas.

Calidad Del Refuerzo

3.9.1.1 Valores de resistencia del refuerzo

Para su determinación, se adoptarán los siguientes criterios:

- a) Para el empleo de otro tipo de refuerzo deberá determinarse sus características resistentes mediante ensayos de laboratorio o especificaciones proporcionadas por el fabricante.
Los valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulo efectivo de mallas no deben ser menores que los especificados a continuación:

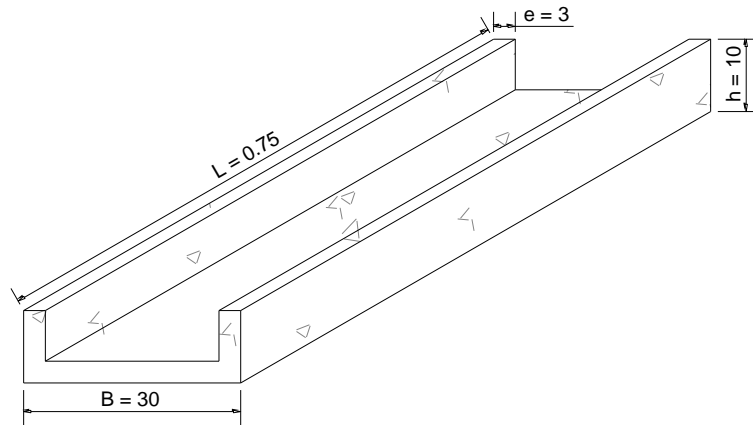
Características		Malla				Barras longitudinales
		cuadrada		Hexagonal	Metal Expandido	
		Tejida	Soldada			
Resistencia a la Fluencia	Fy (kg/cm²)	4.550	4.550	3.150	3.150	4.200
Módulo de Elasticidad Efectivo	EfL (10³ kg/cm²)	1.400	2.030	1.050	1.400	2.030
	EfT (10³ kg/cm²)	1.680	2.030	700	700	-----

- b) Para el empleo de otro tipo de refuerzo deberá determinarse sus características resistentes mediante ensayos de laboratorio o especificaciones proporcionadas por el fabricante.



4 NOMENCLATURA UTILIZADA PARA DEFINIR TABLEROS TIPO C

Tanto para facilitar la fabricación, como su almacenaje y localización en planos y obra, se establece una forma de clasificarlos como se indica a continuación: Por ejemplo, para los tableros tipo charola utilizados en el desarrollo de este documento:



La forma de expresarlo sería como sigue:

$0.75(CH)30/10 - 3/5.5 \text{ mm}$

En letras:

$L(CH)B/h - e/\emptyset$

Donde:

L : Longitud del elemento (m)

(CH) : Tipo de Tablero

B : Ancho (cm)

h : Peralte (cm)

e : Espesor (cm)

\emptyset : Diámetro (mm)

5 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS TIPO C FABRICADOS EN FERROCEMENTO

El procedimiento realizado para la construcción de los elementos tipo C se presenta a continuación, resumiéndose en los siguientes pasos:

5.1 Construcción de Encofrados

Para realizar los moldes se utilizó tabla de encofrado de 1.5 cm de espesor, la misma que fue cortada de acuerdo a las dimensiones requeridas para elaborar el elemento. Con los pedazos necesarios se procedió a clavar elemento tras elemento, quedando de esta manera conformado el molde a ser utilizado. Obsérvese Figura 5-1.



Figura 5-1. Dimensiones y encofrado de Madera utilizado para la construcción de elementos tipo “C”

5.2 Armado del Acero de Armazón

Para realizar el armazón, se adquirieron varillas corrugas de 5.5 mm de diámetro, las mismas que fueron cortadas y dobladas de acuerdo a las dimensiones establecidas en el modelo. Una vez completado el número de varillas se procedió a soldarlas. La Figura 5-2 indica el modelo de armazón utilizado para la construcción.

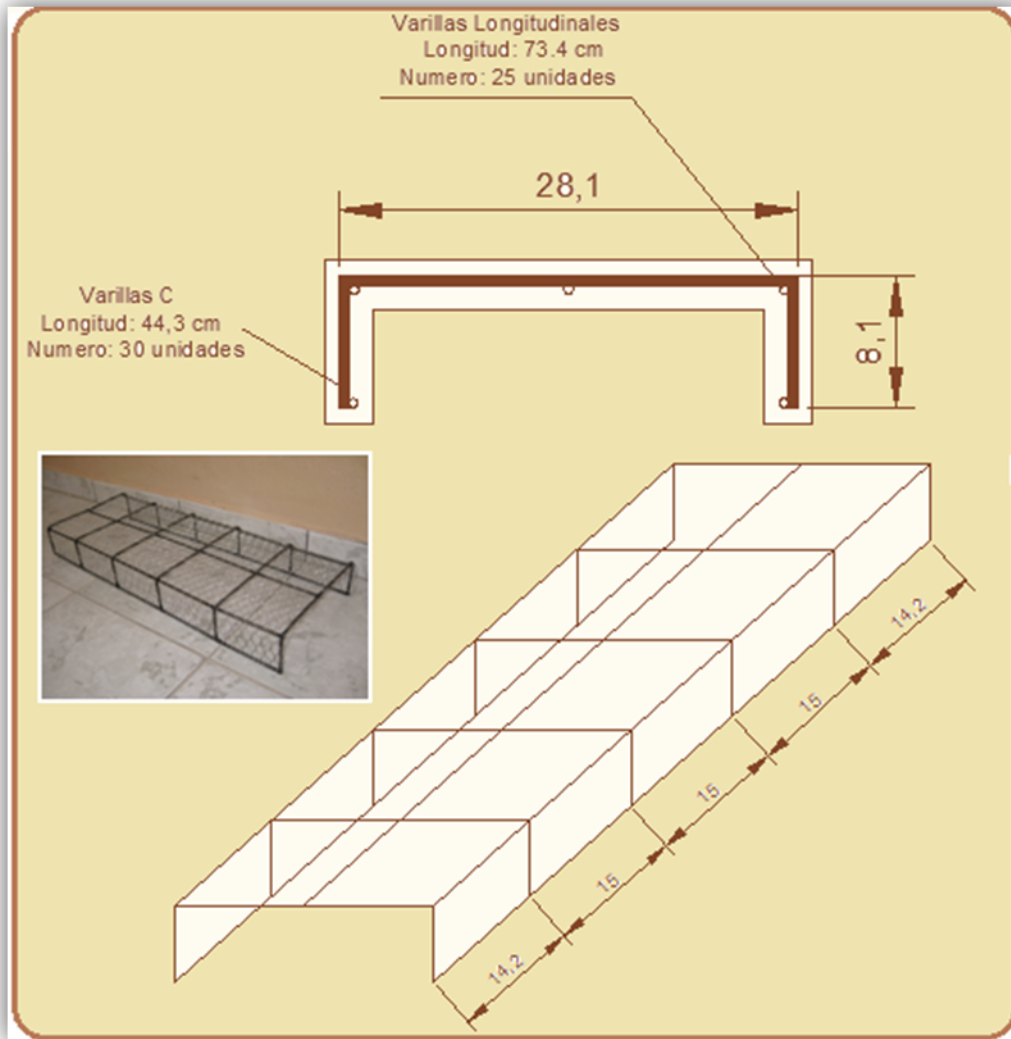


Figura 5-2. Dimensiones de la sección y armado de la estructura de acero

5.3 Colocación de la Malla de Refuerzo

Con el armazón construido se procedió a colocar malla hexagonal alrededor del mismo, la cual se sujeto con pedazos de alambre galvanizado muy fino. Se realizaron dos tipos de armado:

1. Malla hexagonal de $\frac{3}{4}$ " en dos capas.
2. Malla hexagonal de $\frac{1}{2}$ " en cuatro capas.

La Figura 5-3 indica los diferentes tipos de armado utilizado para la fabricación de los elementos tipo C.



Figura 5-3. Armado y colocación de capas de malla hexagonal

5.4 Recubrimiento de Elementos

Para dar el recubrimiento a los elementos se utilizó pedazos de cordón para sellar juntas en vías los cuales nos permitieron conseguir un recubrimiento de 3mm, el mismo que fue sujetado al armazón con alambre galvanizado muy fino. La Figura 5-4 muestra lo expuesto.



Figura 5-4. Cordón para sellado de juntas utilizado como espaciadores de recubrimiento.

5.5 Preparación del Mortero

Una vez determinada la resistencia a la que se quería llegar con los elementos 400 kg/cm^2 , se procedió a diseñar el mortero, para lo cual se tuvo que realizar algunos ensayos para determinar el modulo de finura de la arena, coeficiente de uniformidad, pesos específicos aparentes y volumétricos del cemento y la arena.

Entre los ensayos que se tuvieron que realizar están:

- Granulometría.
- Peso volumétrico.
- Peso específico aparente.

Para la fabricación del mortero se utilizó Cemento Holcim-Rocafuerte y Arena del Río Jubones.



Figura 5-5. Preparacion y mezclado del mortero durante el proceso de construcción.

Al momento de realizar el mortero se hicieron correcciones por humedad para la arena, dado que esta presentaba humedad considerable.

En el Anexo A – 1, se encuentra el diseño a detalle del mortero utilizado para la fabricación de los elementos.

5.6 Construcción de Elementos

Con todos los materiales listos se procedió a colocar el mortero en los cofres y con la ayuda de un bailejo se enrasó y paletó de tal manera que no queden oquedades en el mortero. Pasadas las 48 horas se procedió a desencofrar y luego curar cada uno de los elementos, para que estén listos para ser ensayados. Obsérvese Figura 5-6 y Figura 5-7.



Figura 5-6. Procedimiento de trabajo para colocación y moldeado del mortero en cofres de madera.



Figura 5-7. Procedimiento de desencofrado de elementos



6 DETERMINACION DEL NÚMERO DE MALLAS

Malla hexagonal de ½"

Suponemos que elegimos una malla hexagonal fabricada con alambre de diámetro de 0.56 mm y separación de 13 mm.

Calcularemos a continuación el valor de la superficie específica cuyo valor es:

$$S_L = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{S_f \cdot e}$$

SUPERFICIE ESPECÍFICA

La superficie específica se define como la relación del área superficial total del alambre en contacto con el mortero en la dirección de la carga al volumen del compuesto.

Donde:

S_L : Superficie específica

d : diámetro del alambre

n : numero de capas de malla

S_f : separación entre los alambres

e : espesor del elemento

$$S_L = \frac{\pi \times 0.056 \times n}{1.3 \times 3}$$

$$S_L = 0.04511 n$$

Ahora Naaman obtuvo una formula empírica con la cual calcular el valor del esfuerzo resistente a la primera grieta σ_{cr} que dice:

$$\sigma_{cr} = K S_L + \sigma_{mu}$$

Donde

K : Coeficiente que depende de varios factores, entre otros del árido utilizado, el curado, el tipo de malla y su orientación, el tipo de sollicitación, etc. De no disponer de otros valores de K , se recomienda tomar 20 N/mm (245 Kg.mm/cm²) para tracción directa y 35 N/mm (430 Kg.mm/cm²) para flexión. Y para compresión se tomará 250 N/mm (280 Kg.mm/ cm²) tanto para compresión directa como para compresión en flexión.

σ_{mu} : Resistencia del mortero a la tracción = 27 kg/cm²

Si sustituimos valores encontramos:

$$50 = 430(0.04511 n) + 27 \quad (\text{Para flexión})$$

$$n = 1.18 \approx 2 \text{ mallas}$$

$$50 = 280(0.04511 n) + 27 \quad (\text{Para Compresión})$$

$$n = 1.82 \approx 2 \text{ mallas}$$



Malla hexagonal de 3/4"

De la misma manera se calculo para el otro tipo de elemento en donde el diámetro de la malla hexagonal es de 0.71 mm y el espaciamiento igual a 19 mm, resultando un número de mallas igual a 3 pero dado que se quería que haya mayor diferencia entre los elementos se opto por colocar 4.

$$S_L = 0.0391 n$$

Obteniendo:

$$50 = 430(0.0391 n) + 27 \quad (\text{Para flexión})$$

$$n = 1.36 \approx 2 \text{ mallas}$$

$$50 = 280(0.0391 n) + 27 \quad (\text{Para Compresión})$$

$$n = 2.1 \approx 3 \text{ mallas}$$

Determinamos la superficie específica:

Para 2 mallas de 3/4":

$$S_L = 0.0391 n$$

$$S_L = 0.0782 \text{ mm}^{-1}$$

Para 4 mallas de 1/2":

$$S_L = 0.04511 n$$

$$S_L = 0.18 \text{ mm}^{-1}$$

Por tanto cumple ya que la superficie específica no debe ser menor de 0,05 mm²/ mm³ = 0,05 mm⁻¹, en la dirección del esfuerzo.

Para la fabricación se utilizó 4 capas de malla de 1/2" tanto para flexión como para compresión y 2 capas de malla de 3/4" para ensayarlos de la misma forma y encontrar una notable diferencia entre estos dos tipos de armado.

VOLUMEN DE REFUERZO

La fracción de Volumen de Refuerzo Vf definido como la relación entre el volumen de acero de refuerzo existente en la zona de prueba y el volumen del espécimen en esa misma zona (volumen de acero/volumen de mortero)

$$V_f = \frac{\pi \times d^2 \times n}{4 \times S_f \times e} \times 100$$

Donde:

Vf: Volumen de refuerzo

d: diámetro del alambre

n: numero de capas de malla

Sf: separación entre los alambres

e: espesor del elemento

Sustituyendo valores se tiene:



$$V_f = \frac{\pi \times 0.056^2 \times 4}{4 \times 1.3 \times 3} \times 100 \quad \text{para 4 capas de malla de } 1/2''$$

$$V_f = 2.5\%$$

$$V_f = \frac{\pi \times 0.071^2 \times 2}{4 \times 1.9 \times 3} \times 100 \quad \text{para 2 capas de malla de } 3/4''$$

$$V_f = 1.84\%$$

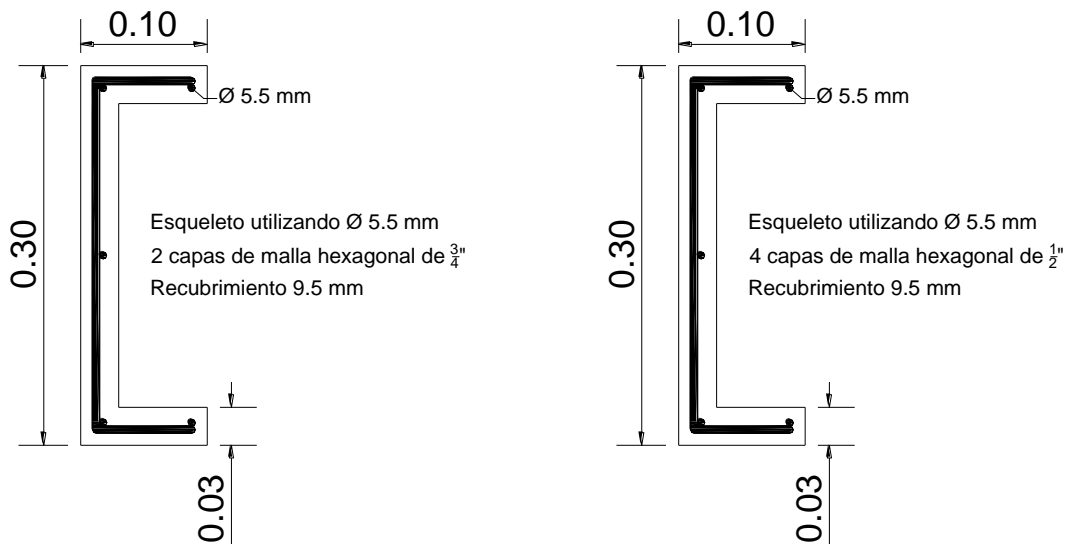
Por lo tanto cumple el volumen de refuerzo V_f en ambas direcciones no debe ser menor que 1.8%

7 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN POSICIÓN A, B Y C

Dada la variedad de utilidades que se les puede dar a los tableros tipo charola (C), en techos, muros como vigas y columnas se planteó realizar una serie de pruebas, para determinar parámetros de resistencia y elasticidad una vez aplicada una carga concentrada, hasta su falla, midiendo las flechas a lo largo de la aplicación de la carga.

Se ensayaron 2 tipos de tableros charola (C), 14 elementos en total, a flexión y compresión, con la misma calidad de mortero y siguiendo las recomendaciones propuestas por diferentes autores.

Las dimensiones de los tableros y el tipo de refuerzo para cada elemento se muestran en los gráficos siguientes:



Se calcularon los momentos teóricos de falla considerando los datos siguientes:

Mortero $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$
 Refuerzo $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ (Varilla corrugada de 5.5 mm de diámetro)
 Malla de gallinero $f_y = 3150 \text{ kg/cm}^2$ (Hexagonal de $\frac{1}{2}''$ y $\frac{3}{4}''$)

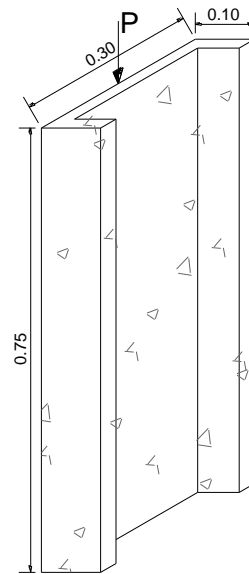


7.1 COMPRESIÓN

Para hacer el ensayo a compresión se construyeron columnas tipo (C) que son miembros que soportan principalmente cargas axiales de compresión y cuya relación $L/b \geq 3$, siendo L , la longitud del elemento y b la menor de las dimensiones en planta.

$$L/b \geq 3 \rightarrow \frac{75}{10} = 7.5$$

Para determinar la fuerza a compresión que resiste cada elemento se utilizaron las siguientes expresiones propuestas por los Sres. Desayi y Joshi, quienes después de varios ensayos aseguran que los resultados son muy próximos a las pruebas para



1. $P_c = K f_{cu} A_c + f_{my} A_m$
2. $P_c = K f_{cu} A_c + f_{my} A_m + f_{sy} A_s$

Donde:

- P_c : Carga a compresión (kg)
- K : Factor de Reducción (0.67)
- f_{cu} : Resistencia de mortero en probeta cúbica (kg/cm^2)
- A_c : Área del mortero (cm^2)
- f_{my} : Límite elástico del alambre de la malla (kg/cm^2)
- A_m : Área de los alambres de la malla que actúan a compresión (kg/cm^2)
- f_{sy} : Esfuerzo en límite elástico de las barras de refuerzo (kg/cm^2)
- A_s : Área de las barras de refuerzo (cm^2)

La carga a compresión a la que estuvieron sometidos los elementos es inferior a la calculada utilizando la expresión 1 propuesta por los Sres. Desayi y Joshi. La Tabla 7-1. indica el decremento que presenta la carga teórica con respecto a la práctica, notándose que para los tableros tipo 1 está alrededor del 11% y del 8% para los tipos 2, que la carga máxima promedio para el primer caso (varillas de 5.5 mm de diámetro y 2 mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ ") alcanza valores iguales a 28461 kg y deformaciones máximas en el orden de los 0.457 mm, mientras que para el segundo tipo (varillas de 5.5 mm de diámetro y 4 mallas hexagonales de $\frac{1}{2}$ ") la carga máxima promedio es de 32550 kg y la deformación es igual a 0.762 mm.



Ensayo No.	Carga kg	Deformación mm	Carga Teórica kg	Decremento %
1	26963	0,356	31883	15
2	29280	0,457		8
3	29142	0,356		9
4	33800	0,762	35098	4
5	31300	0,762		11

Tabla 7-1. Indica el decremento existente entre la carga teórica y la práctica.

La Figura 7-1, muestra la diferencia que hubo entre la carga de diseño y de laboratorio.

La variación entre las fórmulas para compresión 1 y 2 propuestas por los Sres. Desayi y Joshi tienen una variación entre sí del 2.3% y 2.8%.

Los elementos 2 y 3 del tipo 1 presentan una carga bastante similar entre sí, concluyéndose que el elemento tipo 1 presentó algún problema en su resistencia o armado del armazón.

El elemento 4 es el que más se aproxima a los valores de diseño, dando un error semejante al 4%.

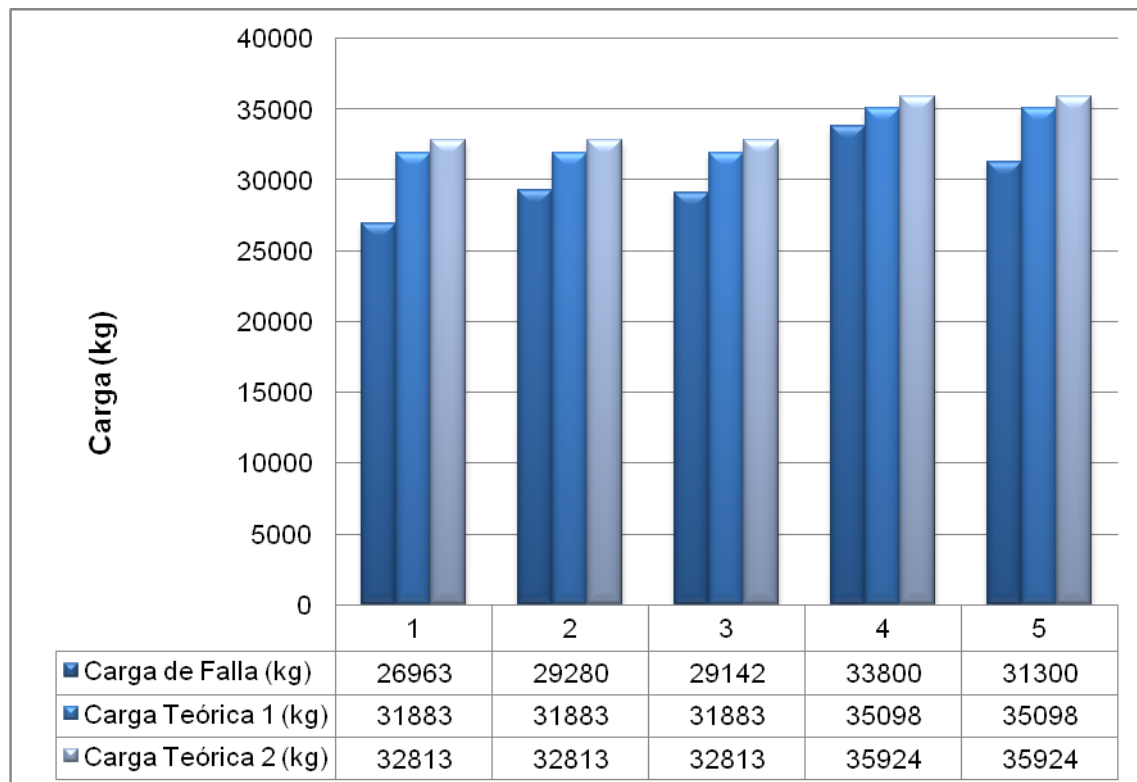


Figura 7-1. Comparación entre los valores de cargas prácticas y teóricas aplicando las fórmulas a compresión propuestas por los Sres. Desayu y Joshi.

Las gráficas a compresión presentan similitud entre cada uno de los tipos, las pendientes son bastantes parecidas al momento recibir carga como al momento que va descendiendo entre cada grupo de pruebas.

A mayor cantidad de acero menor pendiente de la curva Carga - Deformación, para los elementos tipo 1 la pendiente esta alrededor de 83.333 kg/cm^2 , y para los tipo 2 alcanzó un valor similar a 45.000 kg/cm^2 , demostrándose que a mayor cantidad de acero se incrementan las curvas.



DETERMINACION DE LA ESBELTEZ

Para determinar la esbeltez en las columnas ensayadas se aplicó la fórmula de Euler, la cual es aplicable siempre y cuando la tensión que se produzca en el pandeo no debe exceder al límite de proporcionalidad. Para determinar esta tensión, se sustituye en la fórmula el momento de inercia I por Ak^2 , donde A es el área de la sección recta y k el radio de giro mínimo. Para el caso fundamental se tiene:

$$\frac{P}{A} = \frac{E\pi^2}{\left(\frac{L}{k}\right)^2}$$

El valor de P/A es la tensión media en la columna cargada con su carga crítica y se llama tensión crítica. Su límite superior es la tensión en el límite de proporcionalidad. La relación L/k se llama esbeltez mecánica, o simplemente esbeltez, de la columna. Como una columna cargada axialmente tiende a pandear respecto del eje de I mínimo, para hallar la esbeltez de una columna se divide la longitud equivalente o efectiva por el radio de giro mínimo de la sección recta.

La Tabla 7-2 indica los resultados del cálculo de esbeltez realizado utilizando la fórmula de Euler.

Ensayo No.	Inercia cm ⁴	Modulo de Elasticidad kg/cm ²	Esbeltz
1	771,32	863030,56	204,20
2		730067,19	180,23
3		933825,14	204,32
4		505440,09	139,58
5		468055,47	139,58

Tabla 7-2. Indica la esbeltez de los diferentes elementos ensayados a compresión

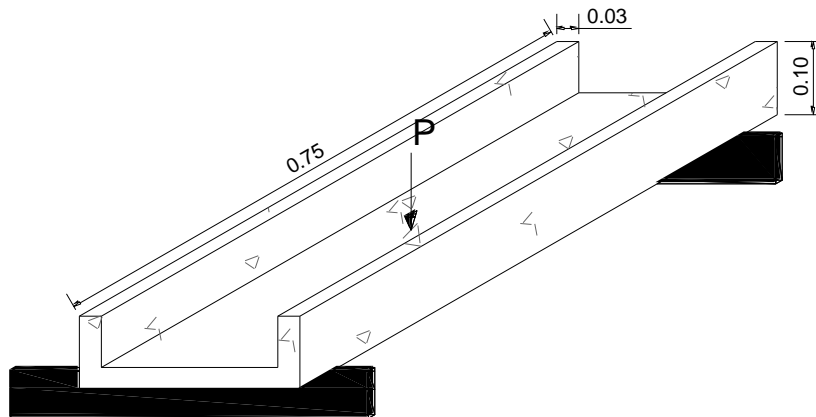
Como puede observarse en la tabla anterior los resultados entre los diferentes elementos tienen similitud, y calculada la esbeltez se confirma que la falla que se produce en los elementos es debido a resistencia del material y no a aplastamiento.

7.2 FLEXIÓN

FLEXIÓN, POSICIÓN A

Se probaron dos tableros tipo charola (C) en Posición A, a flexión, los tableros fueron sujetos a la acción de una carga concentrada hasta su falla, la misma que se aplicó en la mitad del claro, midiendo las deformaciones a lo largo de la aplicación de la misma.

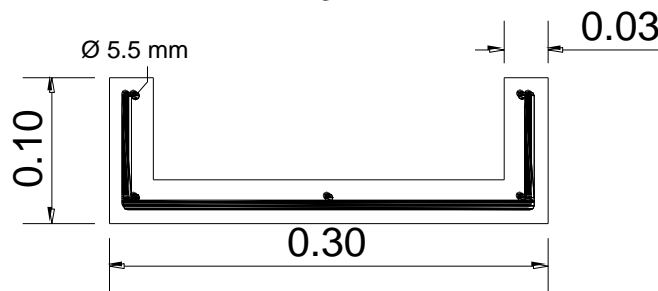
Cabe indicarse que la carga de la prensa se colocó en la losa y no en los patines, dado que al momento de realizar reparaciones el operador asentará todo su peso en la losa y no en los patines, produciéndose flexión en la losa.



El momento teórico calcularemos sumando a la una varilla de 5.5 mm de diámetro las dos mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ pulgada respectivamente, considerando los datos siguientes:

TIPO I

Mortero $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$
 Refuerzo $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ (Varilla corrugada de 5.5 mm de diámetro)
 Malla de gallinero $f_y = 3150 \text{ kg/cm}^2$ (Hexagonal de $\frac{3}{4}$ ")
 3.



Esqueleto utilizando Ø 5.5 mm
 2 capas de malla hexagonal de $\frac{3}{4}$ "
 Recubrimiento 9.5 mm

Área de la una varilla de 5.5 mm de diámetro: $1 \times 0.237 = 0.237 \text{ cm}^2$
 Área de malla hexagonal: $2 \times 0.00938 \times 28.1 = 0.522 \text{ cm}^2$
 Area Total: 0.759 cm^2

Si suponemos que la malla hexagonal resiste lo mismo que las varillas corrugadas, entonces podemos calcular el Momento teórico de la siguiente manera:

$$M = A_s \times f_y \times d \left[1 - \frac{A_s \times f_y}{1.7 \times f'_c \times b \times d} \right]$$

Donde:

A_s : Área de las barras de refuerzo (cm^2)

b : Ancho de la sección donde se produce la flexión (cm)



h : Peralte de la sección (cm)

f_y : Esfuerzo en límite elástico de las barras de refuerzo (kg/cm^2)

f'_c : Resistencia de mortero en probeta cúbica (kg/cm^2)

$$M = 0.759 \times 2800 \times 9.05 \left[1 - \frac{0.759 \times 2800}{1.7 \times 400 \times 24 \times 9.05} \right]$$

$$M = 18956.32 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M = 189.56 \text{ kg} - \text{m}$$

Una vez determinado el momento se procede a determinar la carga de diseño utilizando la siguiente expresión:

$$P = \left(\frac{Mt - \frac{Pp \times L^2}{8}}{L} \right) \times 4$$

Donde:

Mt : Momento teórico (kg-m)

Pp : Peso propio del elemento (kg/m)

L : Longitud del elemento (m)

$$P = \left(\frac{306.38 - \frac{23.8 \times 0.75^2}{8}}{0.75} \right) \times 4$$

$$P = 1002.1 \text{ kg}$$

En estos elementos la carga de falla superó a la carga de diseño en un 45%, lo que demuestra que los valores son superiores en un rango considerable a los de la práctica. La Figura 7-2 demuestra el comportamiento similar de las curvas Carga – Deformación en los dos elementos ensayados. Al momento de dejar de soportar carga la curva en el primer ensayo descienden bruscamente mientras que en el segundo su descenso sigue siendo lineal.

Los elementos al momento de recibir las primeras cargas reacomodan sus esfuerzos, para una vez alcanzada una velocidad constante en la aplicación de la carga el comportamiento del elemento se mantiene en el rango elástico.

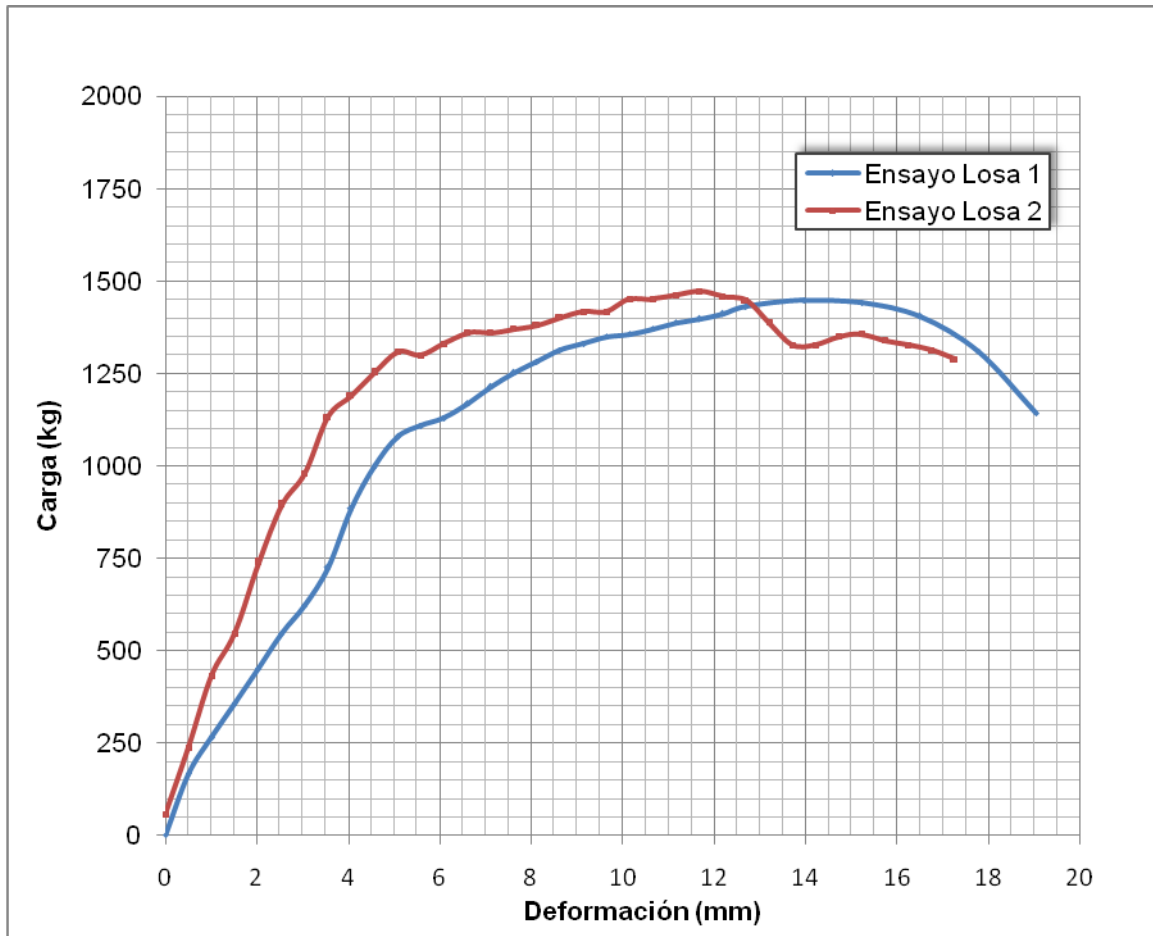
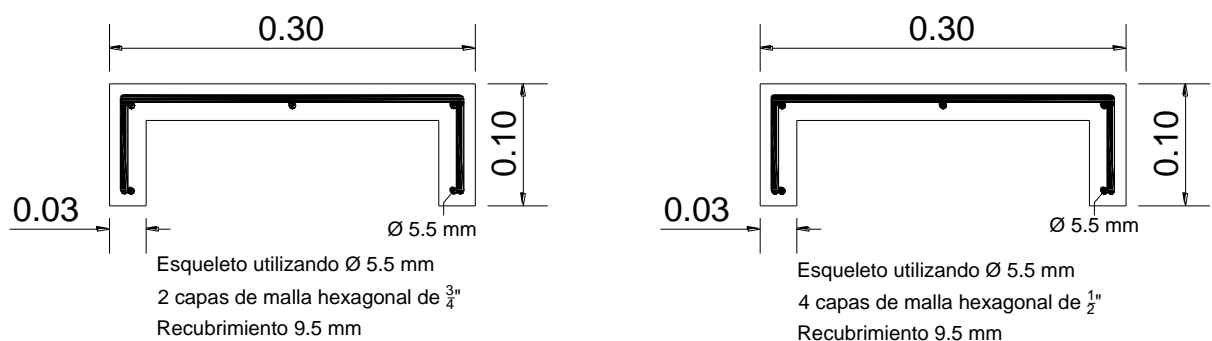


Figura 7-2. Gráfica Carga – Deformación en elementos tipo C, en posición A.

FLEXIÓN, POSICIÓN B

Se probó a flexión, sujetándolo a la acción de una carga concentrada, como viga libremente apoyada con un claro de 0.75 m se colocó en posición B, con el micrómetro se fueron tomando deformaciones cada 0.51 mm.



A continuación se calcula el momento teórico de falla aplicando la teoría del diseño al Límite (Diagrama simplificado de Whitney), considerando únicamente el esfuerzo longitudinal, pero sin el efecto de la malla hexagonal, lo cual lo realizaremos una vez planteada la hipótesis de su colaboración en la resistencia.



En este caso solo consideraremos el efecto de las varillas de 5.5 mm de diámetro colocadas en la parte inferior de los patines.

Consideraremos que el valor de $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$ y que el esfuerzo f_y de la varilla es de 2800 kg/cm^2 .

El área de la varilla de 5.5 mm es de 0.237 cm^2 .

El valor del momento teórico es:

$$M = A_s \times f_y \times d \left[1 - \frac{A_s \times f_y}{1.7 \times f'_c \times b \times d} \right]$$

Donde:

A_s : Área de las barras de refuerzo (cm^2)

b : Ancho de la sección donde se produce la flexión (cm)

h : Peralte de la sección (cm)

f_y : Esfuerzo en límite elástico de las barras de refuerzo (kg/cm^2)

f'_c : Resistencia de mortero en probeta cúbica (kg/cm^2)

$$M = 0.474 \times 2800 \times 9.05 \left[1 - \frac{0.474 \times 2800}{1.7 \times 400 \times 30 \times 9.05} \right]$$

$$M = 11924.81 \text{ kg} - \text{cm}$$

Para este caso la carga de diseño por metro lineal valdría:

$$q = \frac{M \times 8}{L^2} (\text{kg/m})$$

$$q = \frac{119.24 \times 8}{0.75^2} = 1696 \text{ kg/m}$$

En los ensayos realizados en posición B, la carga máxima para el Tipo 1 alcanzó un valor similar a 1506 kg dado que al momento de realizar el ensayo se produjo además de la flexión en la losa punzonamiento, debido a que la carga fue aplicada sobre una varilla que no fue lo suficientemente rígida para evitar deformarse, en el segundo ensayo realizado sobre el elemento Tipo 2 se aplicó la carga utilizando una placa de acero de 2 cm de espesor que permitió distribuir la carga y hacer que el elemento falle únicamente a flexión.

No se podría realizar una comparación entre los dos elementos dado que se produjeron fallas diferentes para cada caso. Obsérvese la Figura 7-3 y la diferencia entre cada una de las gráficas. A pesar de todo ambos elementos presentan comportamiento elástico en su primer tramo.

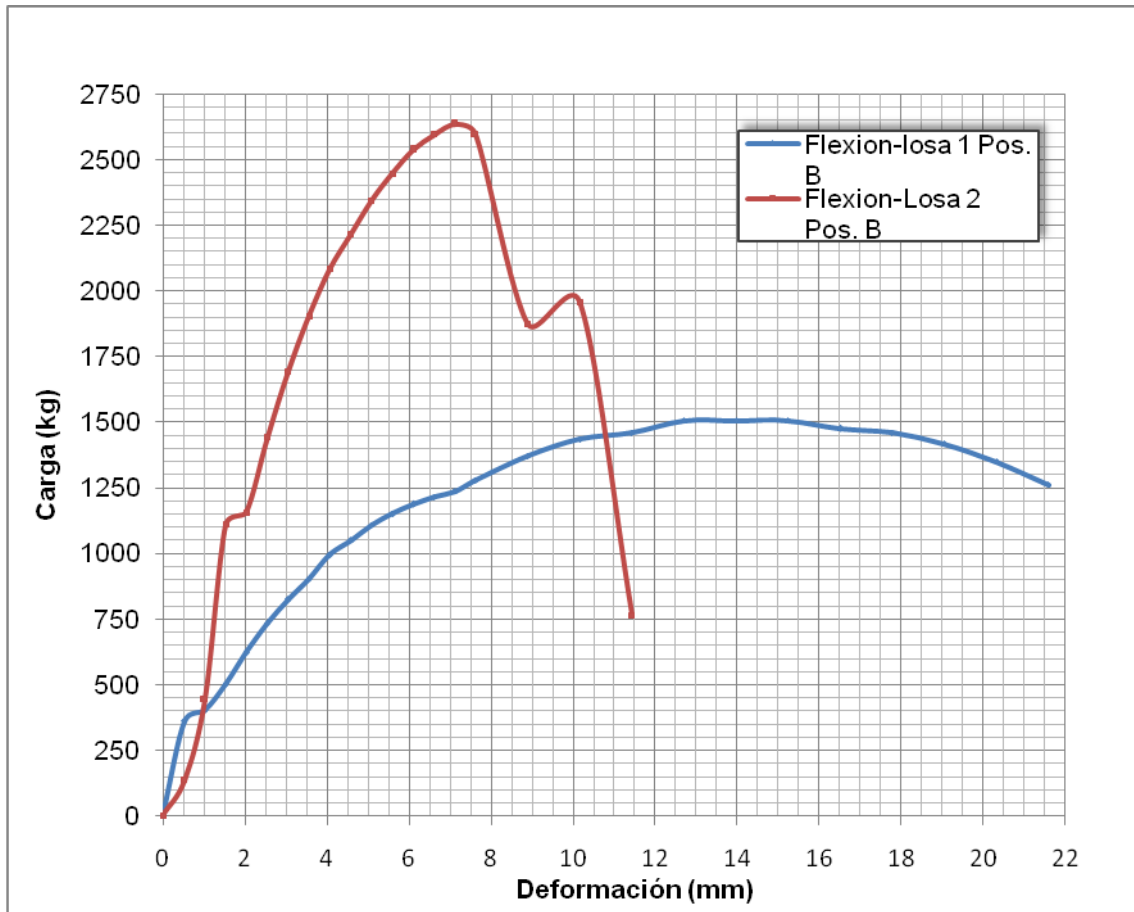


Figura 7-3. Gráfica Carga – Deformación en elementos tipo C, en posición B.

FLEXIÓN, POSICIÓN C

Para determinar el momento al cual deben fallar las estructuras en posición C, su cálculo se ha dividido en tres partes:

La primera será $T_1 \times d_1$, el valor de T_1 , lo calcularemos agregando el área de malla colocada en los patines al área de las varillas de 5.5 mm de diámetro colocada en dichos patines.

$$T_1 = A_s \times f_y$$

T_2 es la tracción que puede resistir la varilla de 5.5 mm de diámetro colocada en el alma.

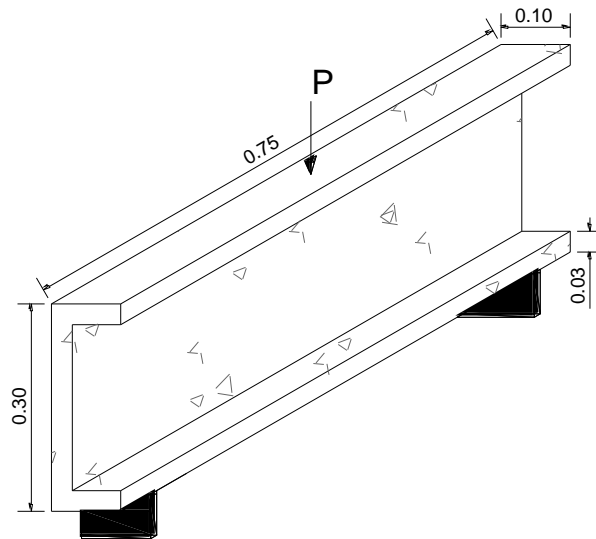
$$T_2 \times d_2$$

El tercer momento $T_3 \times d_3$, es el resistido por la malla colocada en el alma.

Por tanto, el momento final resulta igual a la suma de los anteriores.

$$M_T = T_1 \times d_1 + T_2 \times d_2 + T_3 \times d_3$$

Al momento de realizar el ensayo se procedió a cargar el tablero en posición C, con una carga concentrada P en la mitad del claro, que llegó a valores entre 3670 y 4376 kg, más el peso propio de cada elemento, aparecieron pequeñas grietas en la cara interior y exterior de la losa.



Al final de la carga los patines superiores presentaron flexión y una curvatura del alma hacia afuera como se muestra en el Anexo A – 2, y A – 3.

De los datos obtenidos en laboratorio, para el primer caso se tiene que las cargas de falla superan en un 48% a las teóricas y la deformación máxima alcanza un valor de 0.762 cm, el módulo de elasticidad convencional está alrededor de 3082 kg/cm², para los tableros 2 y 3, y de 4887 kg/cm² para el número 1, dado que este elemento presentó una deformación igual a 0.46 cm inferior a los anteriores.

Los elementos 4 y 5 presentan una carga de falla promedio igual a 4381 kg superior a la teórica en un 47% y una deformación similar a 0.457 cm, con un módulo de elasticidad igual a 5908 kg/cm².

La variación de carga entre los dos tipos de tableros charolas (C) es del 18%, debiéndose este incremento al aumento en el número de mallas hexagonales. Las curvas Carga - Deformación resultante de cada ensayo se pueden revisar en el Anexo Resultados de Laboratorio

La Tabla 7-3 resume los Momentos de Falla Teórico y Práctico determinado para cada uno de los elementos ensayados.

Ensayo No.	Carga kg	Deformación mm	Momento de Falla Kg - cm	Momento Teórico kg - cm	% Incremento
1	3670	4,572	89906,25	61369	1,47
2	3840	7,62	93093,75		1,52
3	3617	7,11	88912,5		1,45
4	4386	4,06	103331,25	70205	1,47
5	4376	5,08	103143,75		1,47

Tabla 7-3. Indica el % de incremento que sufre el elemento una vez ensayado.

La Figura 7-4, indica la variación entre la carga de falla y la de diseño obtenida durante los ensayos a flexión en laboratorio.

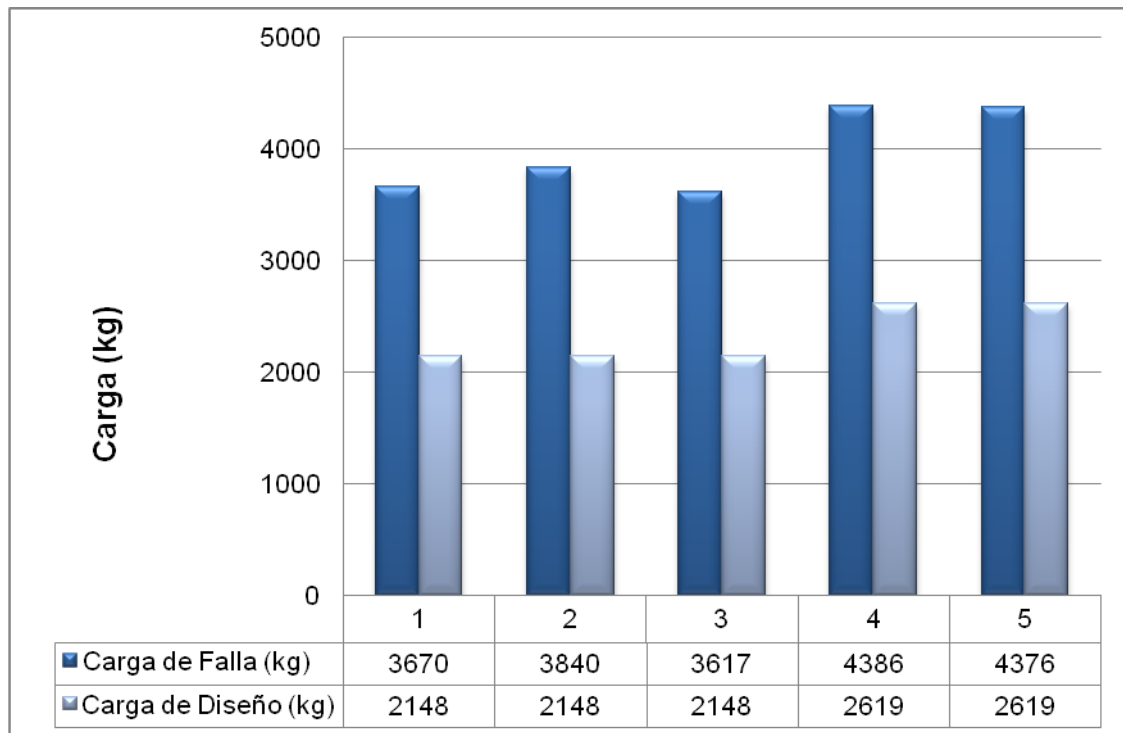


Figura 7-4. Variación entre los valores de cargas teóricas y prácticas.

A continuación, la Figura 7-5, presenta una comparación de las Curvas Carga – Deformación en las 5 pruebas realizadas; los ensayos 1, 2 y 3 corresponden a una carga de diseño de 2148 kg, y al armado que utiliza como esqueleto varilla corrugada de 5.5 mm de diámetro y 2 capas de malla hexagonal de $\frac{3}{4}$ ", obsérvese el comportamiento de las curvas en su tramo recto son similares (paralelas) variando en su punto máximo y en la descarga.

De igual manera los ensayos 4 y 5, en su tramo recto son similares en su comportamiento lineal, su estructura de acero está compuesta por varillas corrugadas de 5.5 mm de diámetro y 4 capas de malla hexagonal de $\frac{1}{2}$ ", su carga es prácticamente la misma, con la diferencia que al momento de recibir carga el elemento 5 sufrió mayores deformaciones.

La variación de pendiente entre los dos tipos de tableros es del 93%, debiéndose la diferencia a la mayor cantidad de capas de malla hexagonal.

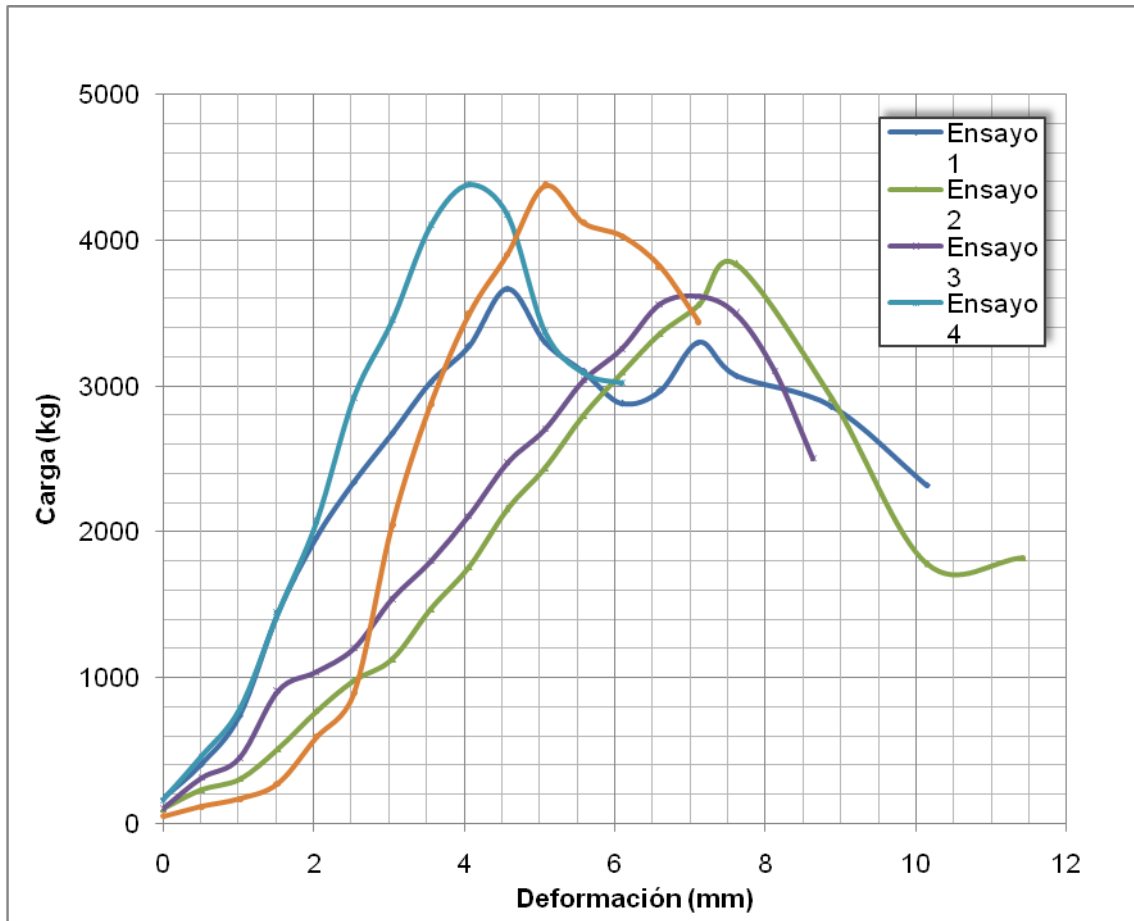


Figura 7-5. Comparación de Curvas Carga – Deformación en elementos tipo C, ensayados en posición C.

ESFUERZO CORTANTE

A continuación se presentan las fórmulas utilizadas para determinar los esfuerzos cortantes en cualquier punto de la sección transversal de los tableros tipo charola (C).

$$v = \frac{V \cdot M_e}{I \cdot b}$$

Donde:

- V: Cortante máximo (kg)
- M_e : Momento estático (cm^3)
- I: Momento de inercia de la sección transversal (cm^4)
- b: Ancho de la sección donde se produce el corte (cm)

El momento de inercia de la sección transversal se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$I = \sum \left(\frac{b \cdot h^3}{12} + A d^2 \right)$$

Donde:

- A: Área de la sección transversal (cm^2)
- b: Ancho de la sección (cm)
- h: Peralte de la sección (cm)



\bar{d} : Distancia al centro de gravedad de la figura (cm)

Para determinar el momento estático de la sección transversal utilizamos la siguiente fórmula:

$$M_e = \sum (A \cdot \bar{d})$$

Una vez ensayos los elementos a flexión se determinaron las fuerzas cortantes a las que estaban sometidos, dividiéndose la carga máxima entre 2 (viga simplemente apoyada) y sumándose a este el peso propio de cada elemento. La Tabla 7-4 resumen los esfuerzos cortantes de los elementos en los ejes 1, 1' y centro de gravedad (CG).

Ensayo No.	Carga kg	Deformación mm	Cortante kg	Peso propio kg/m	Longitud m	Cortante Máximo kg	Inercia cm ⁴
1	3670	4,572	1835,00	23,76	0,75	1852,82	14436
2	3840	7,62	1920,00	22,10	0,75	1936,58	
3	3617	7,11	1808,50	21,45	0,75	1824,59	
4	4386	4,06	2193,00	25,10	0,75	2211,83	
5	4376	5,08	2188,00	26,34	0,75	2207,76	

Ensayo No.	Momento Estático		Esfuerzos Cortantes		
	Ejes 1 - 1' cm ³	Centro de Gravedad cm ³	V _{max} kg/cm ²	V ₁ kg/cm ²	V' ₁ kg/cm ²
1	405	621	26,31	17,16	5,15
2			27,53	17,96	5,39
3			25,93	16,91	5,07
4			31,45	20,51	6,15
5			31,37	20,46	6,14

Tabla 7-4. Resumen de cálculo del Esfuerzo Cortante

Las figuras siguientes indican los valores de esfuerzo cortante para los diferentes elementos ensayados. (Los valores no están a escala)

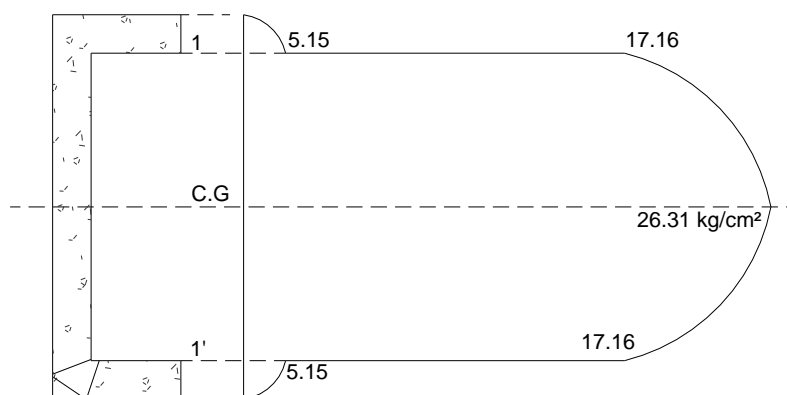


Figura 7-6. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 1 ensayado en posición C.

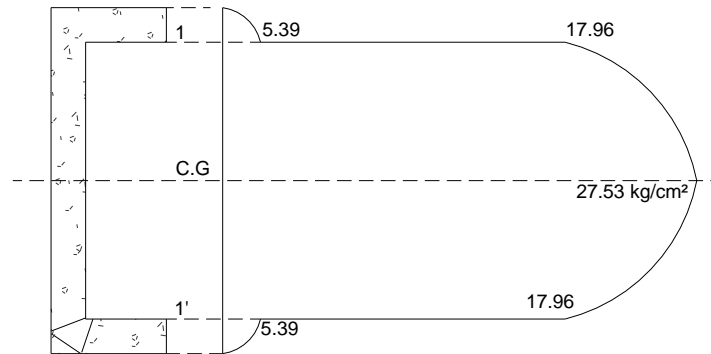


Figura 7-7. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 2 ensayado en posición C.

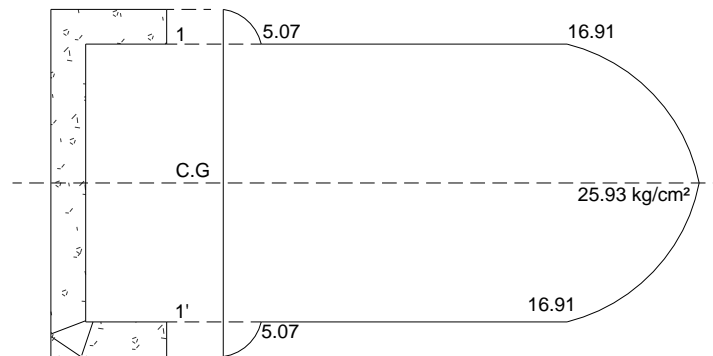


Figura 7-8. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 3 ensayado en posición C.

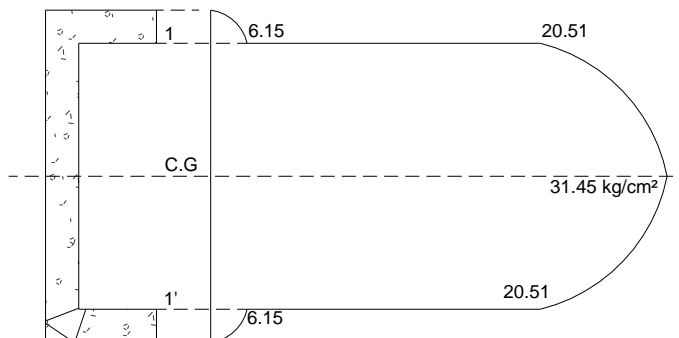


Figura 7-9. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 4 ensayado en posición C.

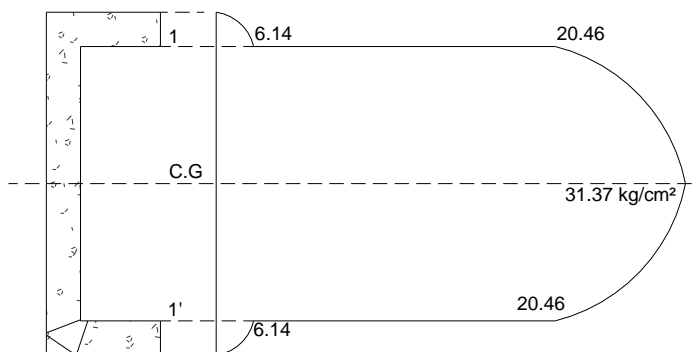


Figura 7-10. Diagrama de Esfuerzo Cortante, Elemento 5 ensayado en posición C.

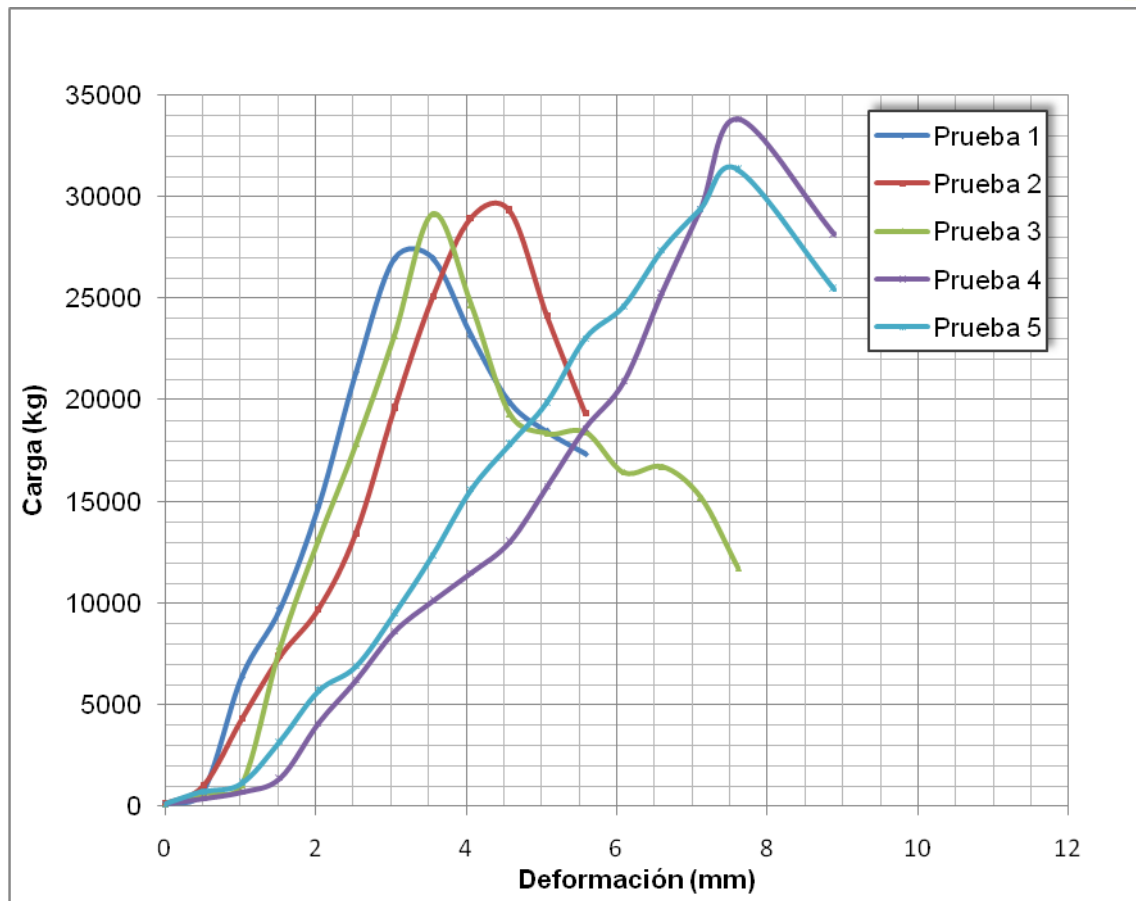


Figura 7-11. Comparación de Curvas Carga – Deformación a Flexión en elementos tipo C, ensayados en posición C.

8 CONCLUSIONES

Una vez determinados los parámetros de resistencia en laboratorio de cada uno de los elementos tipo (C), se pueden plantear algunas conclusiones al respecto que son interesantes desde el punto de vista que en nuestro medio no se cuenta con parámetros de resistencia y elasticidad de estos elementos fabricados en ferrocemento.

Los elementos ensayados, se tratan de elementos tipo charola (C) con una resistencia del mortero entre los 350 kg/cm^2 y 400 kg/cm^2 , compuestos por un armazón de varillas corrugadas de 5.5 mm de diámetro y dos y cuatro mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " respectivamente, a los que se les conoce como:

Tipo I y II: 0.75 (CH) 30/10 – 3/5.5

En todos los ensayos realizados a flexión la carga de falla superó a la de diseño en un valor mayor al 40%, dándose este incremento a factores tales como: resistencia real de la malla hexagonal y resistencia a compresión del mortero utilizado al momento de fabricar los elementos. Solo en los elementos sometidos a compresión los valores teóricos utilizando las fórmulas propuestas por los Sres. Desayu y Joshi, superan a las de laboratorio en un porcentaje alrededor del 11% para el caso de los tableros tipo 1 (varillas de 5.5 mm de



diámetro y 2 mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ " y del 8% para los tipos 2 (varillas de 5.5 mm de diámetro y 4 mallas hexagonales de $\frac{1}{2}$ ").

Las curvas carga – deformación obtenidas en los ensayos demuestran que se incrementan a mayor porcentaje de refuerzo.

La diversidad de posiciones ensayadas confirma una vez más la gran resistencia del material y su posibilidad de trabajar en cualquier posición.

A pesar que los elementos ensayados alcanzan su carga máxima no sufren deformaciones que les hacen inservibles, pudiendo repararse y nuevamente ser utilizados para ser ensayados.

La carga máxima que soportaron los elementos sometidos a compresión fue de 29.280 kg en tableros tipo 1 (varillas de 5.5 mm de diámetro y 2 mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ ") y de 33.800 kg en los tableros tipo 2 (varillas de 5.5 mm de diámetro y 4 mallas hexagonales de $\frac{1}{2}$ ").

Los elementos ensayados en posición A alcanzaron, una carga alrededor de 1470 kg siendo superior a la teórica en un 45 %, utilizando varillas de 5.5 mm de diámetro y 2 mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ ".

De los elementos ensayados en posición C, la carga máxima para tableros tipo 1 (varillas de 5.5 mm de diámetro y 2 mallas hexagonales de $\frac{3}{4}$ ") alcanzó un valor de 3840 kg y para los tableros tipo 2 (varillas de 5.5 mm de diámetro y 4 mallas hexagonales de $\frac{1}{2}$ ") un valor igual a 4386 kg.

De las recomendaciones estructurales para deformaciones de elementos estas no pueden superar valores mayores a 25 mm por lo que todos los elementos ensayados a pesar que alcanzaron su máxima carga tienen deformaciones del orden de los 14 mm en Posición A, 13 mm en Posición B fallando la losa a flexión y punzonamiento y 7 mm en la misma posición pero fallando únicamente a flexión y 8 mm en Posición C.

9 RECOMENDACIONES

El tiempo empleado al igual que el número de muestras realizadas en la investigación fue escaso, por lo que sería conveniente que se plantee este tipo de temas para la realización de tesis de Pregrado ó Postgrado.

Los equipos con los que cuenta el laboratorio (micrómetros deteriorados) no se ajustan a la precisión que requieren este tipo de ensayos, por lo que se recomendaría mejorar el equipamiento para obtener mejores resultados.

Para realizar los ensayos de laboratorio pueden trabajarse con elementos ya ensayados, para determinar la diferencia que existe con los recién elaborados y que no han sufrido daños en su estructura, debido que al momento de terminar el ensayo podían nuevamente recibir carga.



10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alfonso Olvera L. EL FERROCEMENTO Y SUS APLICACIONES

APUNTES DE CLASE

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cosude/iv.pdf>

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cosude/ii.pdf>

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3333/5/34063-5.pdf>

Producido por el Comité 318 (versión en español y en sistema métrico).
REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL Y
COMENTARIO (ACI 318S-05)

Dr. Ing. Hugo Wainshtok Rivas. USO DEL FERROCEMENTO EN LA
ARQUITECTURA Y LA INGENIERIA

Manuales técnicos de IDEAL – ALAMBREC S.A. - Ecuador

11 ANEXOS

A – 1 DISEÑO DEL MORTERO

A – 2 RESULTADOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO

A – 3 FOTOGRAFIAS DE CONSTRUCCION Y ENSAYOS DE LABORATORIO



A-1

DISEÑO DEL MORTERO



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos tipo C fabricados en ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves Iñiguez

DISEÑO DEL MORTERO

Peso Inicial: 1500 gr

GRANULOMETRIA ARENA				
Tamiz #	Peso gr	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	% Pasa
4	469	31,267	31,267	68,73
8	128	8,533	39,8	60,2
16	230	15,333	55,133	44,87
30	258	17,200	72,333	27,67
50	298,6	19,907	92,24	7,76
100	91,1	6,073	98,313	1,69
200	10,1	0,673	98,986	1,01
Fondo	15,2	1,013	99,999	0

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado}}{\text{Serie Estándar 100}}$$

Módulo de Finura = 3.89

D_{10}	0,33	mm
D_{60}	2,38	mm
C_u	7,21	

Pesos Volumétricos:

Arena	1,4	gr/cc
Cemento	1,2	gr/cc

Pesos Aparentes:

Arena	2,63	gr/cc
Cemento	3,15	gr/cc

Dosificación	1 : 2
Relación a/c	0,4

DETERMINACIÓN DE LA FLUIDEZ

Material	Volumen cc	Peso gr	Vconjunto cc
Cemento	83,33	100	31,75
Arena	166,67	233,34	88,72
Agua	250	250	250

Rendimiento: 0,51

Cantidades de Materiales por m³

Material	Volumen		Peso	
Cemento:	0,403	m ³	9,67	sacos
Arena:	0,806	m ³	1128,4	kg
Agua	1,008	m ³	1008	kg

Correcciones por Humedad de la Arena

Peso recipiente:	232,7	gr
Peso húmedo:	1000	gr
Peso seco:	916,3	gr
Humedad Total:	9,13	%

Peso húmedo arena: 1231,42 kg

Cantidades de Mortero por m³ en peso una vez realizadas las correcciones por humedad

Material	Peso	
Cemento:	9,67	sacos
Arena:	1231,42	kg
Agua	1008	kg



A – 2

RESULTADOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO

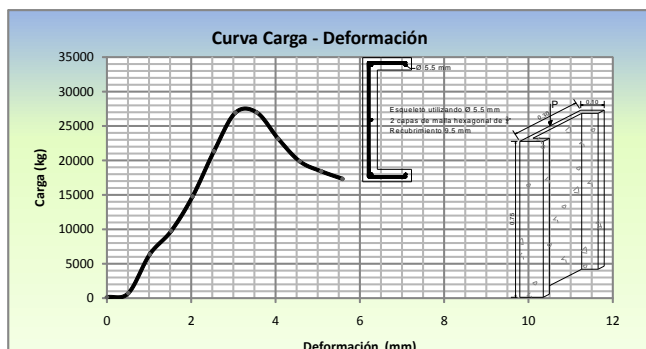
Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil
Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento
Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja
Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 1
Ensayo a: Compresión
Elemento: C

Resultados del Ensayo a Compresión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	143	143,00
20	0,02	0,508	724	724,00
40	0,04	1,016	6363	6363,00
60	0,06	1,524	9746	9746,00
80	0,08	2,032	14785	14785,00
100	0,1	2,540	21342	21342,00
120	0,12	3,048	26932	26932,00
140	0,14	3,556	26963	26963,00
160	0,16	4,064	23142	23142,00
180	0,18	4,572	19875	19875,00
200	0,2	5,080	18425	18425,00
220	0,22	5,588	17328	17328,00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	26963	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,356	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	46163,86	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	390,46	kg/cm ²



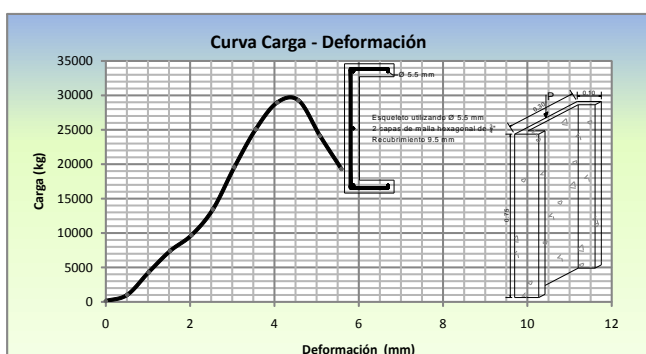
Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil
Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento
Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja
Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 2
Ensayo a: Compresión
Elemento: C

Resultados del Ensayo a Compresión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	136	136,00
20	0,02	0,508	1023	1023,00
40	0,04	1,016	4306	4306,00
60	0,06	1,524	7392	7392,00
80	0,08	2,032	9685	9685,00
100	0,1	2,540	13432	13432,00
120	0,12	3,048	19565	19565,00
140	0,14	3,556	25075	25075,00
160	0,16	4,064	28960	28960,00
180	0,18	4,572	29280	29280,00
200	0,2	5,080	24130	24130,00
220	0,22	5,588	19320	19320,00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	29280	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,457	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	38990,65	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	377,94	kg/cm ²



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

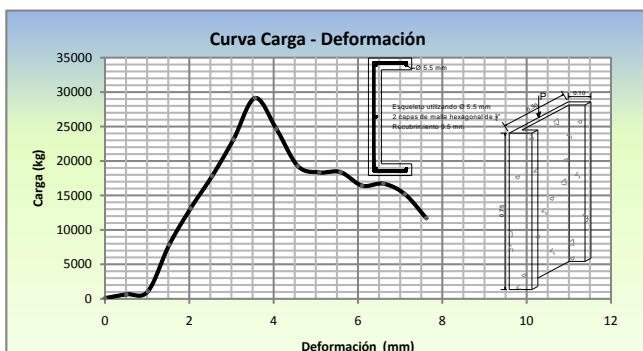
Prueba No. 3

Ensayo a: Compresión

Elemento: C

Resultados del Ensayo a Compresión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	112	112,00
20	0,02	0,508	653	653,00
40	0,04	1,016	1067	1067,00
60	0,06	1,524	7846	7846,00
80	0,08	2,032	13128	13128,00
100	0,1	2,540	17823	17823,00
120	0,12	3,048	23142	23142,00
140	0,14	3,556	29142	29142,00
160	0,16	4,064	24662	24662,00
180	0,18	4,572	19281	19281,00
200	0,2	5,080	18348	18348,00
220	0,22	5,588	18398	18398,00
240	0,24	6,096	16429	16429,00
260	0,26	6,604	16713	16713,00
280	0,28	7,112	15198	15198,00
300	0,3	7,620	11721	11721,00



Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	29142	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,356	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	49894,57	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	375,62	kg/cm ²

Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

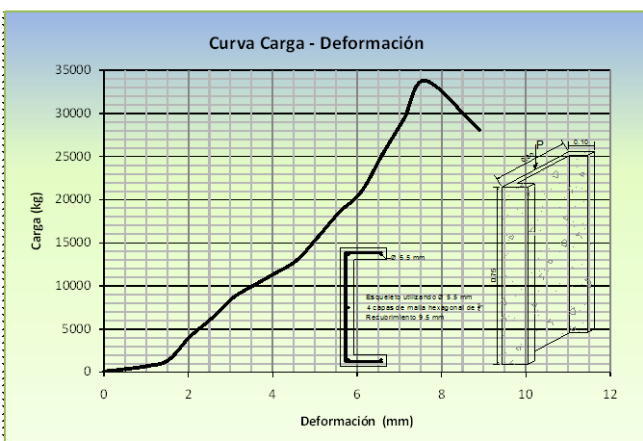
Prueba No. 4

Ensayo a: Compresión

Elemento: C

Resultados del Ensayo a Compresión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	100	100,00
20	0,02	0,508	380	380,00
40	0,04	1,016	720	720,00
60	0,06	1,524	1400	1400,00
80	0,08	2,032	4096	4096,00
100	0,1	2,540	6200	6200,00
120	0,12	3,048	8600	8600,00
140	0,14	3,556	10100	10100,00
160	0,16	4,064	11500	11500,00
180	0,18	4,572	13000	13000,00
200	0,2	5,080	15730	15730,00
220	0,22	5,588	18600	18600,00
240	0,24	6,096	20900	20900,00
260	0,26	6,604	25300	25300,00
280	0,28	7,112	29400	29400,00
300	0,3	7,620	33800	33800,00
350	0,35	8,890	28125	28125,00



Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	33800	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,762	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	27005,82	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	398,20	kg/cm ²

Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 5

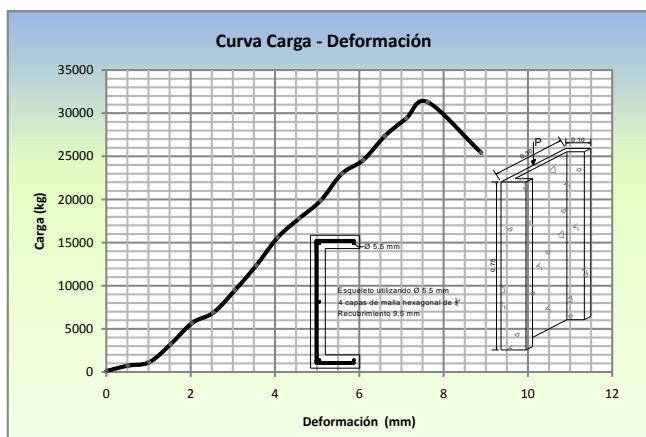
Ensayo a: Compresión

Elemento: C

Resultados del Ensayo a Compresión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	110	110,00
20	0,02	0,508	734	734,00
40	0,04	1,016	1135	1135,00
60	0,06	1,524	3209	3209,00
80	0,08	2,032	5679	5679,00
100	0,1	2,540	6898	6898,00
120	0,12	3,048	9467	9467,00
140	0,14	3,556	12354	12354,00
160	0,16	4,064	15600	15600,00
180	0,18	4,572	17800	17800,00
200	0,2	5,080	19867	19867,00
220	0,22	5,588	23000	23000,00
240	0,24	6,096	24589	24589,00
260	0,26	6,604	27356	27356,00
280	0,28	7,112	29400	29400,00
300	0,3	7,620	31300	31300,00
350	0,35	8,890	25432	25432,00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	31300	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,762	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	25008,35	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	376,34	kg/cm ²



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

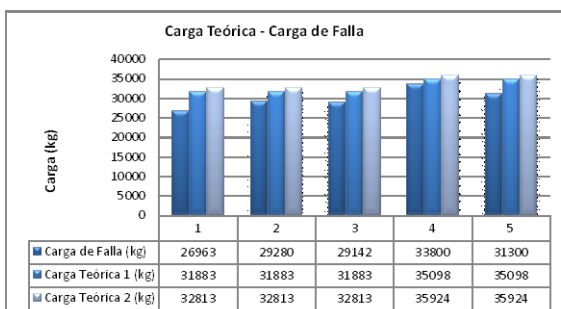
Resumen

Ensayo a: Compresión

Elemento: C

Resultados del Ensayo a Compresión en Elementos Tipo C

Ensayo No.	Longitud cm	Ancho cm	Peralte cm	Tela de Gallinero		Parrilla	Carga kg	Deformación cm	Carga Teórica kg	Carga Teórica kg	Incremento %
				Abertura	Capas						
1	75	10	30	34"	2	Ø 5.5 mm	26963	0,356	31883	32813	15
2	75	10	30	34"	2	Ø 5.5 mm	29280	0,457			8
3	75	10	30	34"	2	Ø 5.5 mm	29142	0,356			9
4	75	10	30	42"	4	Ø 5.5 mm	33800	0,762	35098	35924	4
5	75	10	30	42"	4	Ø 5.5 mm	31300	0,762			11



Area (cm ²)	132
-------------------------	-----

Ensayo No.	Inercia cm ⁴	Módulo de Elasticidad kg/cm ²	Esbeltez
1	771,32	86300,56	204,20
2		73006,19	180,23
3		933825,14	204,32
4		505440,00	139,58
5		468055,47	139,58



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

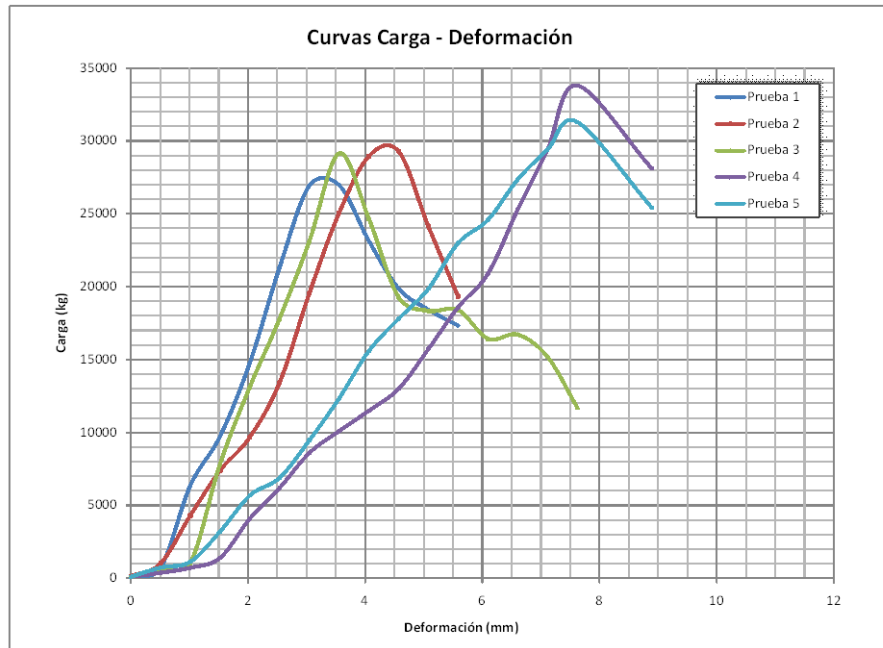
Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Ensayo a: Compresión

Elemento: C

Fecha: sep-10



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

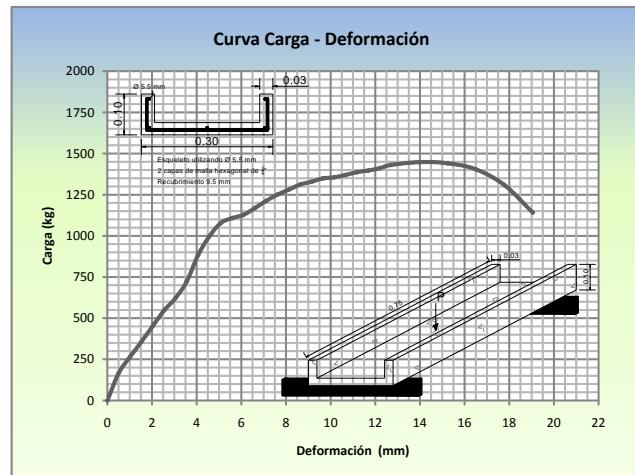
Prueba No. 1

Ensayo a: Flexión - Losa

Elemento: Posición A

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	0	0,00
20	0,02	0,508	167	167,00
40	0,04	1,016	265	265,00
60	0,06	1,524	357	357,00
80	0,08	2,032	452	452,00
100	0,1	2,540	547	547,00
120	0,12	3,048	622	622,00
140	0,14	3,556	724	724,00
160	0,16	4,064	884	884,00
180	0,18	4,572	998	998,00
200	0,2	5,080	1078	1078,00
220	0,22	5,588	1108	1108,00
240	0,24	6,096	1128	1128,00
260	0,26	6,604	1169	1169,00
280	0,28	7,112	1213	1213,00
300	0,3	7,620	1251	1251,00
320	0,32	8,128	1281	1281,00
340	0,34	8,636	1312	1312,00
360	0,36	9,144	1329	1329,00
380	0,38	9,652	1349	1349,00
400	0,4	10,160	1356	1356,00
420	0,42	10,668	1370	1370,00
440	0,44	11,176	1387	1387,00
460	0,46	11,684	1397	1397,00
480	0,48	12,192	1411	1411,00
500	0,5	12,700	1431	1431,00
550	0,55	13,970	1448	1448,00
600	0,6	15,240	1441	1441,00
650	0,65	16,510	1404	1404,00
700	0,7	17,780	1309	1309,00
750	0,75	19,050	1142	1142,00



Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	1448	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	1,397	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	631,06	kg/cm ²
Resistencia del Mortero Fc:	390,76	kg/cm ²



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

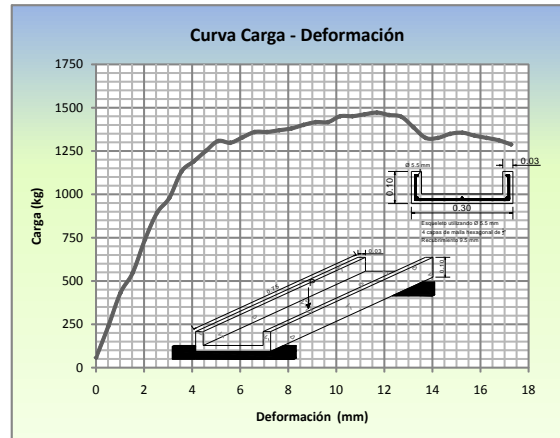
Prueba No. 2

Ensayo a: Flexión - Losa

Elemento: Posición A

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	58	58,00
20	0,02	0,508	238	238,00
40	0,04	1,016	432	432,00
60	0,06	1,524	547	547,00
80	0,08	2,032	738	738,00
100	0,1	2,540	894	894,00
120	0,12	3,048	979	979,00
140	0,14	3,556	1132	1132,00
160	0,16	4,064	1190	1190,00
180	0,18	4,572	1251	1251,00
200	0,2	5,080	1308	1308,00
220	0,22	5,588	1298	1298,00
240	0,24	6,096	1329	1329,00
260	0,26	6,604	1360	1360,00
280	0,28	7,112	1360	1360,00
300	0,3	7,620	1370	1370,00
320	0,32	8,128	1380	1380,00
340	0,34	8,636	1401	1401,00
360	0,36	9,144	1417	1417,00
380	0,38	9,652	1417	1417,00
400	0,4	10,160	1451	1451,00
420	0,42	10,668	1451	1451,00
440	0,44	11,176	1462	1462,00
460	0,46	11,684	1472	1472,00
480	0,48	12,192	1458	1458,00
500	0,5	12,700	1448	1448,00
520	0,52	13,208	1387	1387,00
540	0,54	13,716	1326	1326,00
560	0,56	14,224	1326	1326,00
580	0,58	14,732	1349	1349,00
600	0,6	15,240	1356	1356,00
620	0,62	15,748	1339	1339,00
640	0,64	16,256	1326	1326,00
660	0,66	16,764	1312	1312,00
680	0,68	17,272	1288	1288,00



Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	1472	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	1,168	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	767,03	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	375,52	kg/cm ²

Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

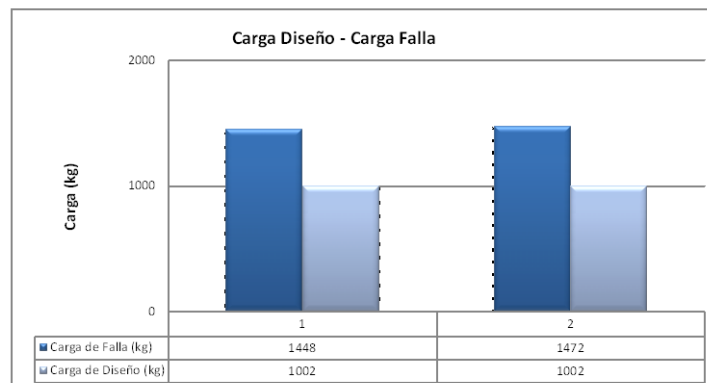
Resumen

Ensayo a: Flexión-Losa

Elemento: Posición A

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Ensayo No.	Longitud cm	Ancho cm	Peralte cm	Tela de Gallinero		Parrilla	Carga kg	Deformación cm	Momento de Falla Kg - cm	Momento Teórico kg - cm	% Incremento
				Abertura	Capas						
1	75	10	30	34"	2	Ø 5.5 mm	1448	1,39	27306,80	18956,32	44,00
2	75	10	30	34"	2	Ø 5.5 mm	1472	1,17	27756,80		46,00





Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

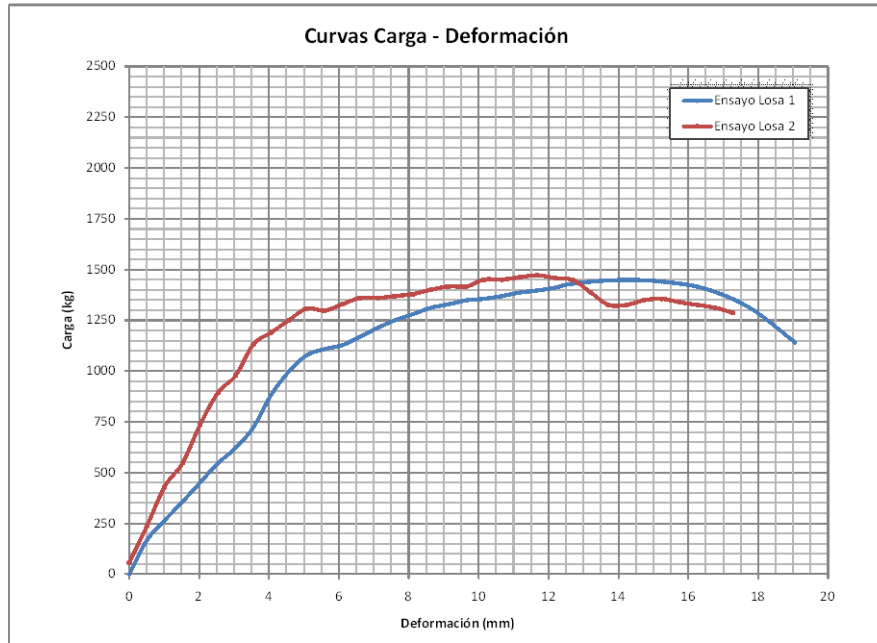
Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Ensayo a: Flexión - Losa

Elemento: Posición A

Fecha: sep-10



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

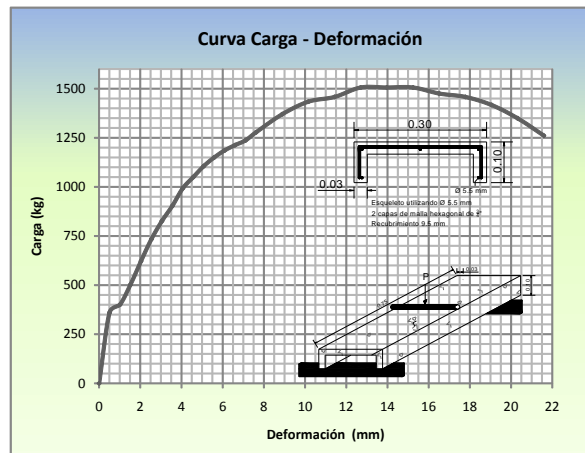
Prueba No. 1

Ensayo a: Flexión - Losa

Elemento: Posición B

Resultados del Ensayo a Flexión - Losa "POSICION B" en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	0	0,00
20	0,02	0,508	360	360,00
40	0,04	1,016	401	401,00
60	0,06	1,524	503	503,00
80	0,08	2,032	622	622,00
100	0,1	2,540	734	734,00
120	0,12	3,048	826	826,00
140	0,14	3,556	904	904,00
160	0,16	4,064	993	993,00
180	0,18	4,572	1050	1050,00
200	0,2	5,080	1106	1106,00
220	0,22	5,588	1150	1150,00
240	0,24	6,096	1186	1186,00
260	0,26	6,604	1213	1213,00
280	0,28	7,112	1237	1237,00
300	0,3	7,620	1278	1278,00
350	0,35	8,890	1370	1370,00
400	0,4	10,160	1434	1434,00
450	0,45	11,430	1458	1458,00
500	0,5	12,700	1506	1506,00
550	0,55	13,970	1506	1506,00
600	0,6	15,240	1506	1506,00
650	0,65	16,510	1475	1475,00
700	0,7	17,780	1458	1458,00
750	0,75	19,050	1417	1417,00
800	0,8	20,320	1349	1349,00
850	0,85	21,590	1261	1261,00



Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	1506	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	1,270	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	721,97	kg/cm ²
Resistencia del Mortero F _c :	373,64	kg/cm ²



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

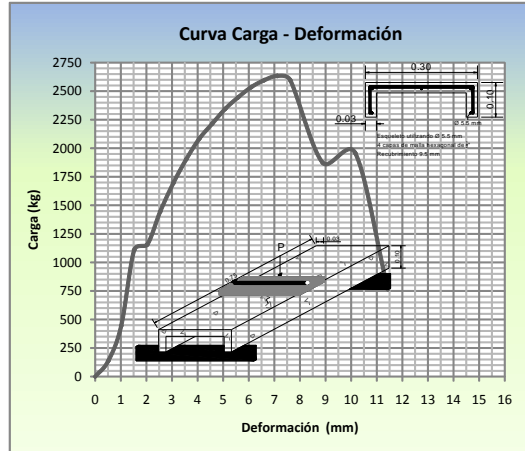
Prueba No. 2

Ensayo a: Flexión - Losa

Elemento: Posición B

Resultados del Ensayo a Flexión - Losa "POSICION B" en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	0	0,00
20	0,02	0,508	136	136,00
40	0,04	1,016	445	445,00
60	0,06	1,524	1109	1109,00
80	0,08	2,032	1156	1156,00
100	0,1	2,540	1445	1445,00
120	0,12	3,048	1693	1693,00
140	0,14	3,556	1903	1903,00
160	0,16	4,064	2083	2083,00
180	0,18	4,572	2216	2216,00
200	0,2	5,080	2345	2345,00
220	0,22	5,588	2447	2447,00
240	0,24	6,096	2536	2536,00
260	0,26	6,604	2597	2597,00
280	0,28	7,112	2634	2634,00
300	0,3	7,620	2597	2597,00
350	0,35	8,890	1873	1873,00
400	0,4	10,160	1958	1958,00
450	0,45	11,430	765	765,00



Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	2634	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,711	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	2254,86	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	375,52	kg/cm ²

Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

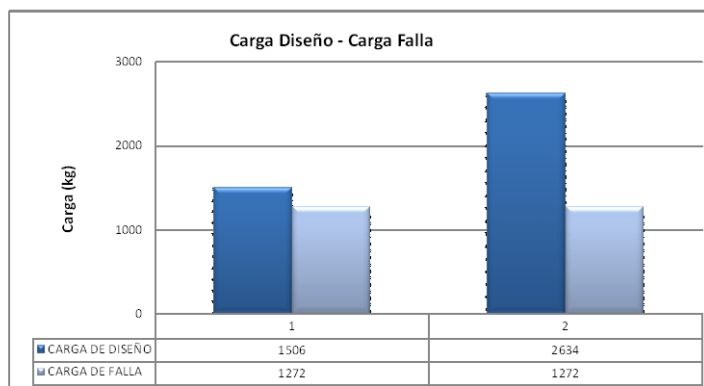
Resumen

Ensayo a: Flexión-Losa

Elemento: Posición B

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Ensayo No.	Longitud cm	Ancho cm	Peralte cm	Teja de Galinero		Parrilla	Carga kg	Deformación cm	Momento de Falla Kg - cm	Momento Teórico kg - cm	% Incremento
				Abertura	Capas						
1	75	10	30	3/4"	2	Ø 5.5 mm	1506	1,39	28404,14	11924,81	38,00
2	75	10	30	1/2"	4	Ø 5.5 mm	2634	1,17	49554,14		216,00





Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

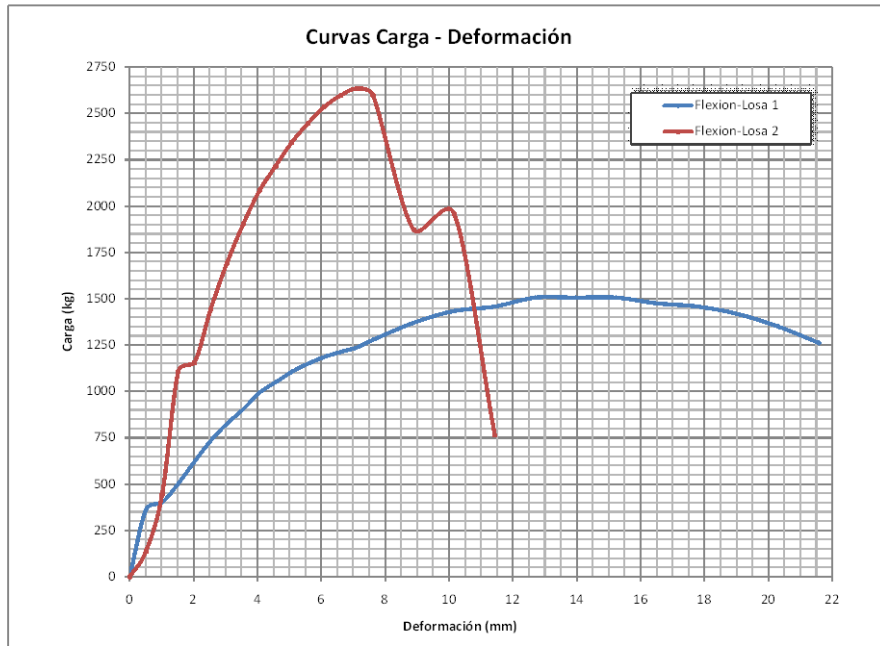
Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Ensayo a: Flexión - Losa

Elemento: Posición B

Fecha: sep-10



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 1

Ensayo a: Flexión

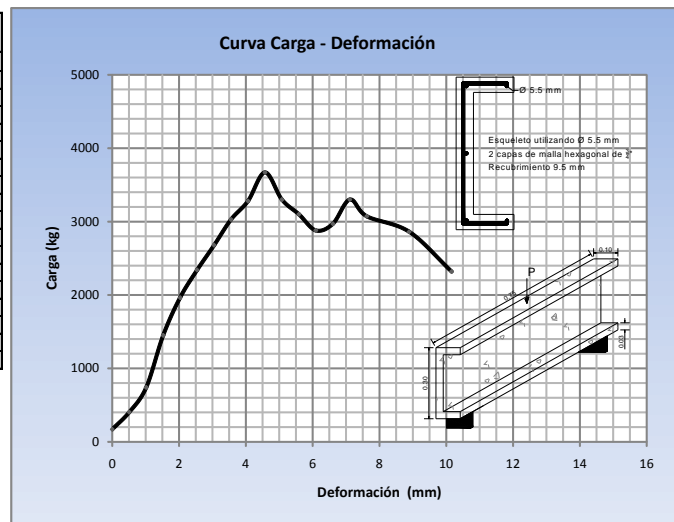
Elemento: Posición C

Fecha: sep-10

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	170	170,00
20	0,02	0,508	404	404,00
40	0,04	1,016	741	741,00
60	0,06	1,524	1450	1450,00
80	0,08	2,032	1965	1965,00
100	0,1	2,540	2340	2340,00
120	0,12	3,048	2678	2678,00
140	0,14	3,556	3029	3029,00
160	0,16	4,064	3280	3280,00
180	0,18	4,572	3670	3670,00
200	0,2	5,080	3300	3300,00
220	0,22	5,588	3100	3100,00
240	0,24	6,096	2880	2880,00
260	0,26	6,604	2970	2970,00
280	0,28	7,112	3300	3300,00
300	0,3	7,620	3073	3073,00
350	0,35	8,890	2862	2862,00
400	0,4	10,160	2320	2320,00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	3670	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,4572	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	4887,15	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	351,70	kg/cm ²





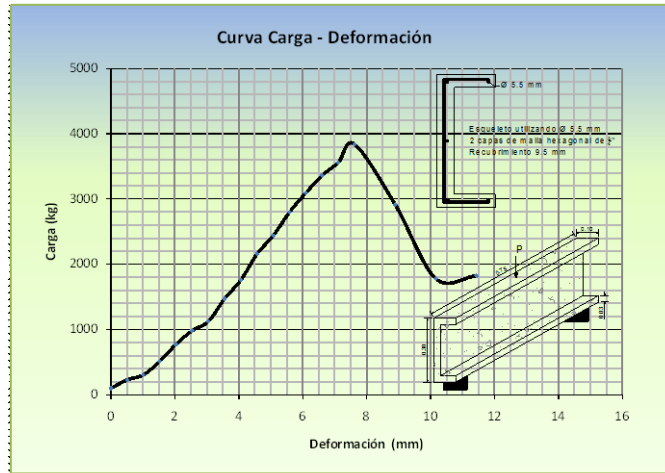
Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento
 Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja
 Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 2
 Ensayo a: Flexión
 Elemento: Posición C
 Fecha: sep-10

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	100	100.00
20	0,02	0,508	228	228.00
40	0,04	1,016	306	306.00
60	0,06	1,524	513	513.00
80	0,08	2,032	772	772.00
100	0,1	2,540	982	982.00
120	0,12	3,048	1125	1125.00
140	0,14	3,556	1472	1472.00
160	0,16	4,064	1760	1760.00
180	0,18	4,572	2160	2160.00
200	0,2	5,080	2440	2440.00
220	0,22	5,588	2800	2800.00
240	0,24	6,096	3093	3093.00
260	0,26	6,604	3362	3362.00
280	0,28	7,112	3560	3560.00
300	0,3	7,620	3840	3840.00
320	0,32	8,128	2916	2916.00
400	0,4	10,160	1781	1781.00
450	0,45	11,430	1822	1822.00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	3840	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,762	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	3068,12	kg/cm ²
Resistencia del Mortero Fc:	376,66	kg/cm ²



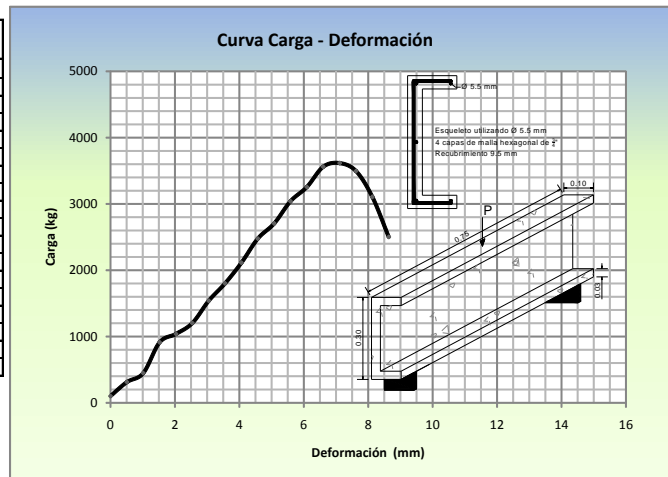
Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil
 Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento
 Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja
 Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 3
 Ensayo a: Flexión
 Elemento: Posición C

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	102	102.00
20	0,02	0,508	313	313.00
40	0,04	1,016	449	449.00
60	0,06	1,524	913	913.00
80	0,08	2,032	1040	1040.00
100	0,1	2,540	1204	1204.00
120	0,12	3,048	1540	1540.00
140	0,14	3,556	1802	1802.00
160	0,16	4,064	2114	2114.00
180	0,18	4,572	2478	2478.00
200	0,2	5,080	2706	2706.00
220	0,22	5,588	3042	3042.00
240	0,24	6,096	3256	3256.00
260	0,26	6,604	3562	3562.00
280	0,28	7,112	3617	3617.00
300	0,3	7,620	3497	3497.00
320	0,32	8,128	3107	3107.00
340	0,34	8,636	2504	2504.00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	3617	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,711	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	3096,37	kg/cm ²
Resistencia del Mortero Fc:	376,60	kg/cm ²



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 4

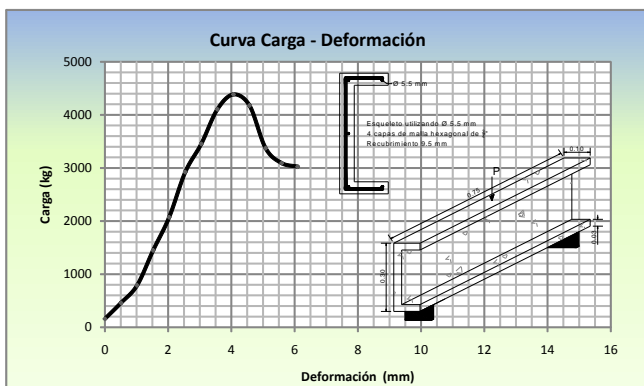
Ensayo a: Flexión

Elemento: Posición C

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	160	160,00
20	0,02	0,508	459	459,00
40	0,04	1,016	789	789,00
60	0,06	1,524	1448	1448,00
80	0,08	2,032	2072	2072,00
100	0,1	2,540	2923	2923,00
120	0,12	3,048	3454	3454,00
140	0,14	3,556	4106	4106,00
160	0,16	4,064	4386	4386,00
180	0,18	4,572	4177	4177,00
200	0,2	5,080	3375	3375,00
220	0,22	5,588	3093	3093,00
240	0,24	6,096	3025	3025,00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	4386	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,406	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	6570,68	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	373,66	kg/cm ²



Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesina: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Prueba No. 5

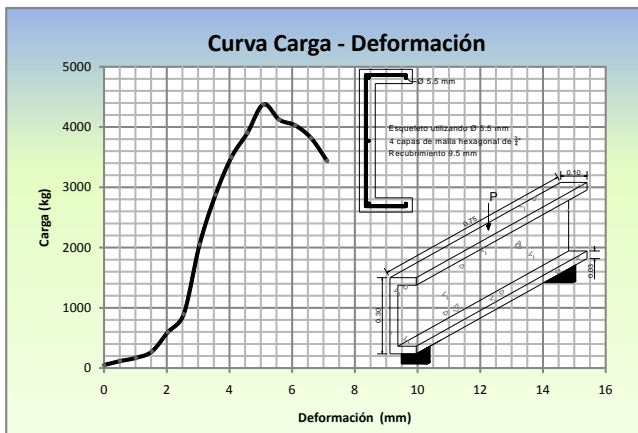
Ensayo a: Flexión

Elemento: Posición C

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Lectura Dial x10 ⁻³ in	Lectura Dial in	Deformación mm	Carga Dial Kg	Carga Kg
0	0	0	51	51,00
20	0,02	0,508	116	116,00
40	0,04	1,016	170	170,00
60	0,06	1,524	275	275,00
80	0,08	2,032	596	596,00
100	0,1	2,540	894	894,00
120	0,12	3,048	2051	2051,00
140	0,14	3,556	2876	2876,00
160	0,16	4,064	2497	3500,00
180	0,18	4,572	3905	3905,00
200	0,2	5,080	4376	4376,00
220	0,22	5,588	4123	4123,00
240	0,24	6,096	4028	4028,00
260	0,26	6,604	3817	3817,00
280	0,28	7,112	3440	3440,00

Descripción	Cantidad	Unidad
Carga Máxima:	4376	kg
Longitud del Elemento:	75	cm
Deformación:	0,508	cm
Inercia:	14436	cm ⁴
Módulo de Elasticidad:	5244,56	kg/cm ²
Resistencia del Mortero f _c :	375,70	kg/cm ²





Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Resumen

Diseño a: Cortante

Elemento: Posición C

Determinación de Esfuerzos Cortantes en Elementos Tipo C

Ensayo No.	Carga kg	Deformación mm	Cortante kg	Peso propio kg/m	Longitud m	Cortante Máximo kg	Inercia cm ⁴
1	3670	4,572	1835,00	23,76	0,75	1852,82	14436
2	3840	7,62	1920,00	22,10	0,75	1936,58	
3	3617	7,11	1808,50	21,45	0,75	1824,59	
4	4386	4,06	2193,00	25,10	0,75	2211,83	
5	4376	5,08	2188,00	26,34	0,75	2207,76	

Ensayo No.	Momento Estático		Esfuerzos Cortantes		
	Ejes 1 - 1' cm ³	Centro de Gravedad cm ³	V _{max} kg/cm ²	V ₁ kg/cm ²	V' ₁ kg/cm ²
1	405	621	26,31	17,16	5,15
2			27,53	17,96	5,39
3			25,93	16,91	5,07
4			31,45	20,51	6,15
5			31,37	20,46	6,14

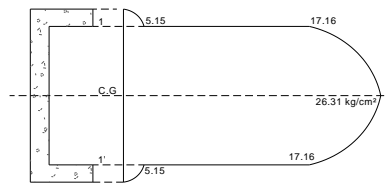


DIAGRAMA DE ESFUERZOS CORTANTES

Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

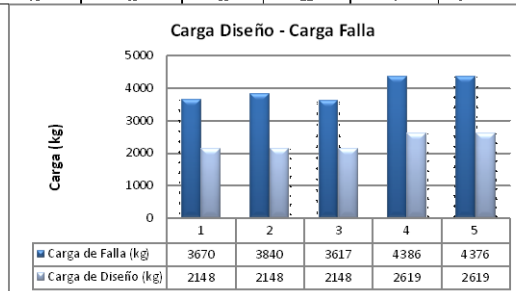
Resumen

Ensayo a: Flexión

Elemento: Posición C

Resultados del Ensayo a Flexión en Elementos Tipo C

Ensayo No.	Longitud cm	Ancho cm	Peso cm	Tela de Gallinero		Parrilla	Carga kg	Deformación mm	Momento de Falla Kg - cm	Momento Teórico kg - cm	% Incremento
				Abertura	Capas						
1	75	10	30	3/4"	2	Ø 5.5 mm	3670	4,572	89906,25	61369	47,00
2	75	10	30	3/4"	2	Ø 5.5 mm	3840	7,62	93093,75		52,00
3	75	10	30	3/4"	4	Ø 5.5 mm	3617	7,11	88912,5		45,00
4	75	10	30	1/2"	4	Ø 5.5 mm	4386	4,06	103331,25	70205	68,00
5	75	10	30	1/2"	4	Ø 5.5 mm	4376	5,08	103143,75		68,00





Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil

Tesis: Determinación de Parámetros de Resistencia y Elasticidad en Elementos Tipo C fabricados en Ferrocemento

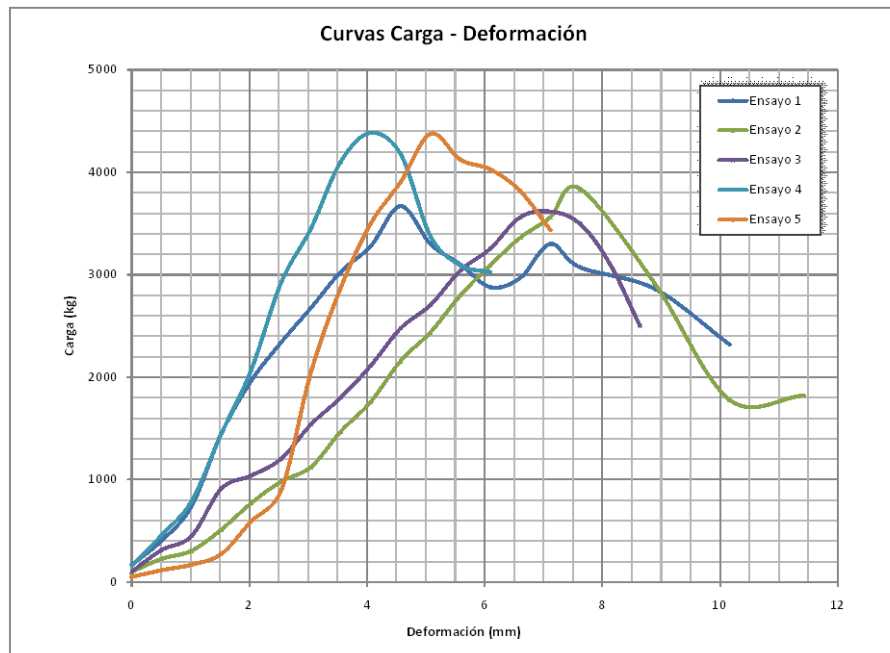
Realizado por: Hernán Campoverde Borja y Geovanny Campoverde Borja

Director: Ing. Rubén Jerves

Ensayo a: Flexión

Elemento: Posición C

Fecha: sep-10





A – 3

FOTOGRAFIAS DE CONSTRUCCION Y ENSAYOS DE LABORATORIO



Foto 11-1 Colocacion de la malla hexagonal utilizando trozos de alambre de acero, en el armazon previamente soldado .



Foto 11-2 Preparacion del encofrado para colocar el mortero y el armazon de acero con malla hexagonal.



Foto 11-3 Indica preparacion y vertido del mortero en los moldes previamente engrasados.



Foto 11-4 Obsérvese durante el proceso de desencofrado de los elementos.



Foto 11-5 Elemento fabricado en ferrocemento listo para ser ensayado en posición A, la varilla indica el punto medio donde se va a aplicar la carga al elemento simplemente apoyado.



Foto 11-6 Indica el tipo de apoyos utilizados durante el proceso de ensayo del elemento.



Foto 11-7 Obsérvese el tipo de deformímetro utilizado durante el proceso de ensayo de los elementos.



Foto 11-8 Obsérvese la primera grieta durante el ensayo y luego de cierto lapso de tiempo el pandeo de la losa y las grietas en los patines.



Foto 11-9 Indica el elemento ensayado una vez que alcanza su carga máxima.

HERNAN CAMPOVERDE B.
GEOVANNY CAMPOVERDE B.



Foto 11-10 Elemento listo para ser ensayado en posición B, obsérvese ubicación de la placa en el centro del claro y de los apoyos para que el elemento trabaje como simplemente apoyado.

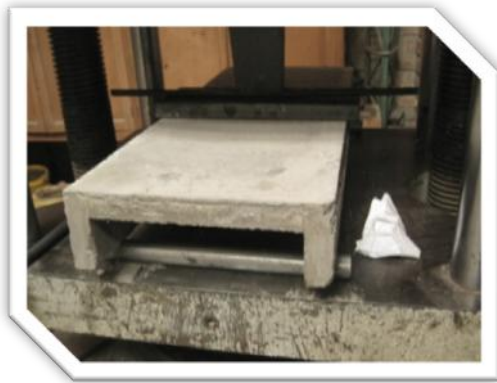


Foto 11-11 Obsérvese al elemento durante el proceso de carga y la aparición de las primeras grietas en los patines.



Foto 11-12 Elemento al final del ensayo, con grietas y pandeo en la losa.



Foto 11-13 Laboratoristas acomodando el elemento para someterlo al ensayo de flexion en posicion C. La carga se aplico lo mas al borde posible para ejercer una carga puntual que evite que se produzca torsion en el elemento.



Foto 11-14 Obsérvese ubicación de carga y apoyos durante el proceso de ensayo.



Foto 11-15 Indica la aparición de grietas en el interior y exterior de la losa formando un ángulo de 45 con respecto al punto de aplicación de la carga.



Foto 11-16 Elementos tipo C ensayados a compresion, observese grietas longitudinales y desconchamiento del mortero.

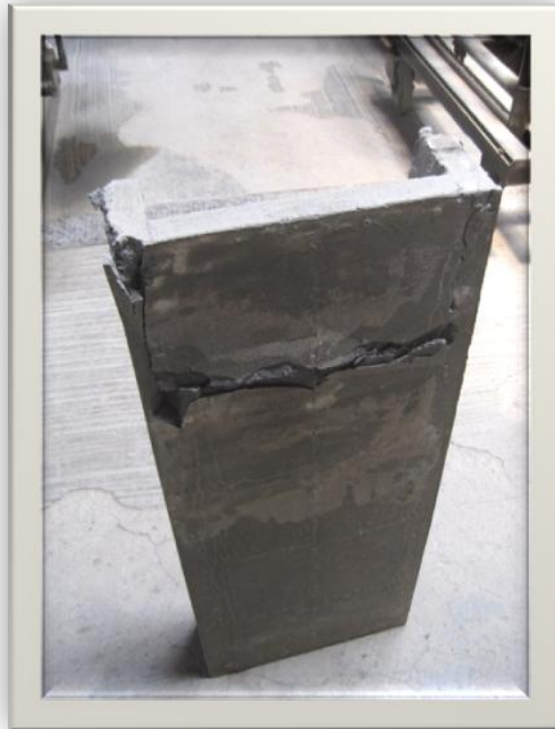


Foto 11-17 Estado final de elemento una vez ensayado a compresion.



Foto 11-18 Las estructuras sometidas a compresion presentaron una falla en la base, debido a la carga aplicada o a una mala interaccion entre la base de la prensa y la estructura.



Foto 11-19 Los elementos fueron pesados utilizando la balanza del laboratorio de suelos para determinar su peso propio.



Foto 11-20 Obsérvese como se determino la resistencia a compresión del mortero, utilizando las probetas cubicas.



Foto 11-21 Indica los posibles usos que se podrían dar a este tipo de tableros para ser utilizados en cubiertas y muros.